

THÈSE

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

Présentée et soutenue le jeudi 25 avril 1907, à 1 heure

PAR

Ch. ROUCHY

Licencié ès-sciences — Pharmacien supérieur
Ancien assistant de Chimie biologique à l'Université de Fribourg (Suisse)
Ancien Préparateur à l'Institut Pasteur de Lille
Professeur suppléant à l'Ecole de Médecine et de Pharmacie de Poitiers
Chef de laboratoire au service d'Assainissement de la Seine

LES EAUX D'ÉGOUT DE PARIS

**Leur traitement par la méthode de l'épandage
sur sol naturel — par la méthode
biologique des lits de contact — par colonne épura-
trice.**

Président : M. CHANTEMESSE, Professeur.

*Juges : MM. { DEBOVE, Professeur.
JEANSELME, Agrégé.
RICHAUD, Agrégé.*

*Le Candidat répondra aux questions qui lui seront faites sur les diverses parties
de l'enseignement médical*

PARIS

LIBRAIRIE MÉDICALE ET SCIENTIFIQUE
JULES ROUSSET

1, rue Casimir-Delavigne, 1

1907

FACULTE DE MÉDECINE DE PARIS

Année 1907

N°

233

THÈSE

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

Présentée et soutenue le jeudi 25 avril 1907, à 1 heure

PAR

Ch. ROUCHY

Licencié ès-sciences — Pharmacien supérieur
Ancien assistant de Chimie biologique à l'Université de Fribourg (Suisse)
Ancien Préparateur à l'Institut Pasteur de Lille
Professeur suppléant à l'Ecole de Médecine et de Pharmacie de Poitiers
Chef de laboratoire au service d'Assainissement de la Seine

LES EAUX D'ÉGOUT DE PARIS

**Leur traitement par la méthode de l'épandage
sur sol naturel — par la méthode
biologique des lits de contact — par colonne épura-
trice.**

Président : M. CHANTEMESSE, Professeur.

*Juges : MM. { DEBOVE, Professeur.
JEANSELME, Agrégé.
RICHAUD, Agrégé.*

Le Candidat répondra aux questions qui lui seront faites sur les diverses parties
de l'enseignement médical

PARIS

LIBRAIRIE MÉDICALE ET SCIENTIFIQUE
JULES ROUSSET

1, rue Casimir-Delavigne, 1

1907



FACULTÉ DE MEDECINE, DE PARIS

Doyen	M. DEBOVE.
Professeurs	MM
Anatomie	POIRIER.
Physiologie	CH. RICHEL
Physique médicale	GARIEL.
Chimie organique et chimie minérale	GAUTIER.
Histoire naturelle médicale	BLANCHARD.
Pathologie et thérapeutique générales	BOUCHARD
Pathologie médicale	HUTINEL
Pathologie chirurgicale	BRISAUD
Anatomie pathologique	LANNELONGUE.
Histologie	CORNIL.
Opérations et appareils	
Pharmacologie et matière médicale	SEGOND.
Thérapeutique	POUCHET
Hygiène	GILBERT.
Médecine légale	CHANTEMESSE
Histoire de la médecine et de la chirurgie	THOINOT.
Pathologie expérimentale et comparée	DEJERINE.
	ROGER.
Clinique médicale	{
	HAYEM.
	DIEULAFOY.
	DEBOVE.
	LANDOUZY.
Maladies des Enfants	GRANCHER.
Clinique de pathol. mentale et des malad. de l'encéphale	JOFFROY.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	GAUCHER
Clinique des maladies du système nerveux	RAYMOND.
	{
Clinique chirurgicale	LE DENTU
	TERRIER.
	BERGER.
	RECLUS.
Clinique ophtalmologique	DE LA PERSONNE
Clinique des maladies des voies urinaires	ALBARRAN.
Clinique d'accouchements	PINARD.
Clinique gynécologique	
Clinique chirurgicale infantile	POZZI.
Clinique thérapeutique	KIRMISSON
	Albert ROBIN.

Agrévés en exercice.

MM	MM	MM	MM
AUVRAY.	DUPRE	LEGREY.	PROUST.
BALTHAZARD.	DUVAL.	LEGUEU	RENON.
BRANCA	FAURE.	LEPAGE	RICHAUD
BEZANCON	GOSSET.	MACAIGNE.	RIEFEL (chef des
BRINDEAU.	GOUGET.	MAILLARD.	Travaux anatomiques.)
BROCA Andre.	GUIART.	MARION.	TEISSIER.
CARNOT.	JEANSELME.	MAUCLAIRE.	THIROLOIX
CLAUDE.	LABBE.	MERY.	VAQUEZ.
CUNEO.	LANGLOIS.	MORESTIN.	WALLICH.
DEMELIN.	LAUNOIS.	POTOCKI.	
DESGREZ.			

Par délibération en date du 8 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A MONSIEUR LE DOCTEUR CHANTEMESSE

**Professeur d'Hygiène à la Faculté de Médecine de Paris,
Inspecteur général des services sanitaires,
Membre de l'Académie de Médecine,
Officier de la Légion d'honneur.**

A MON MAITRE

MONSIEUR LE PROFESSEUR CALMETTE

Directeur de l'Institut Pasteur de Lille,
Membre correspondant de l'Institut
et de l'Académie de médecine,
Officier de la Légion d'honneur.

Hommage de reconnaissance.

INTRODUCTION

Le rôle de l'eau d'alimentation, dans l'étiologie d'un certain nombre d'affections redoutables, est aujourd'hui indiscutablement établi. Si on peut contracter la fièvre typhoïde, le choléra, la dysenterie, par contagement direct, c'est surtout, c'est presque exclusivement, l'absorption d'eau contaminée par des matières fécales, souillée par le bacille d'Eberth, par le vibrion cholérique de Koch, par le bacille de Chantemesse et Widal ou l'amœba dysenteriaë, qui est la cause de ces maladies. Mais ce ne sont point là les seuls germes pathogènes que l'on puisse rencontrer dans l'eau. Le bacille du côlon, le pneumocoque, le bacille de la tuberculose, celui de la diphtérie, de la diarrhée verte, des streptocoques, des staphylocoques, la bactériodie charbonneuse, le vibrion septique, le bacille du tétanos et une foule d'autres peuvent y vivre également.

On peut y retrouver et apportés de la même façon par les matières fécales, les parasites intestinaux et

leurs œufs, ainsi que les ptomaines secrétées dans l'intestin. Le eaux de surface, et celles de la nappe souterraine, c'est-à-dire l'eau de boisson, qu'elle provienne d'une source, d'un puits, d'un ruisseau, sont donc exposées à de multiples contaminations.

Il est indiscutable que les eaux usées, répandues sur le sol, furent à maintes reprises la cause de nombreuses et terribles épidémies ; et il est non moins certain que nous restons exposés à les voir se reproduire. Si le problème de l'assainissement des villes intéresse au plus haut point la santé publique, c'est aussi, on ne saurait le dire trop haut, un de ceux dont on s'occupe le moins en France. Si, dans ces trente dernières années, à la suite des travaux de Pasteur, des mesures sanitaires sérieuses ont été prises dans notre pays, on est bien obligé de reconnaître que rien n'a été fait, en province du moins, pour l'épuration des eaux usées. Dans le rapport si complet qu'il présentait en 1885 à la Chambre des députés, le docteur Bourneville n'affirmait-il pas : « De nos jours, ils existe des villes où l'on trouve un endroit plus ou moins isolé, une sorte de défécatoir public en plein air. » Plus récemment, au Congrès d'hygiène de Tourcoing de septembre 1906, le docteur Jullien, directeur du bureau d'hygiène de cette ville, signalait l'existence dans cette localité de plus de quatre-vingt mille âmes, de fosses d'aisance constituées par de simples tonneaux en planches,

enfoncés dans la terre. A Bordeaux, d'après le docteur Lande, bien placé pour être documenté puisqu'il a eu l'honneur et la responsabilité d'être maire de cette ville, « la maçonnerie des fosses est construite, tantôt en pierres de qualité inférieure et très poreuses, mal jointées avec du mortier grossier; tantôt, le fond de la fosse n'est pas maçonné; tantôt enfin, une large ouverture, pratiquée à la paroi, à la fin des travaux, assure l'écoulement des liquides dans le terrain voisin. »

Sur nos six cent seize villes de plus de cinq mille habitants, la moitié, deux cent quatre vingt-quatorze exactement, d'après MM. Macé et Imbeaux, n'ont aucun égout; et deux cent cinquante-sept autres n'ont que des égouts pluviaux. Quant aux petites agglomérations, leur situation sanitaire est encore généralement plus mauvaise.

Les villes qui sont traversées par un fleuve ou une rivière y rejettent leurs nuisances, sans souci de l'infection à laquelle sont exposés les riverains d'aval, sans redouter davantage pour elles-mêmes les dangers semblables que leur font courir les riverains d'amont. Quant à celles qui sont éloignées d'un cours d'eau, leurs immondices, par une pratique plus défectueuse encore, se perdent sur place, à même dans le sol, qui s'imbibe chaque jour davantage de matières fécales.

Ainsi, malgré l'évidente nécessité absolue de pro-

téger les eaux souterraines ou superficielles contre toutes ces souillures, les municipalités ne prennent aucune mesure.

Il existe cependant une loi pour la protection de la santé publique et l'organisation sanitaire en France. Mais malgré tout le soin avec lequel elle fut étudiée, car le projet de loi déposé par M. Jules Siegfried sur le bureau de la Chambre des députés, le 22 juin 1886, repris par M. Lockroy, le 19 novembre 1889, voté par la Chambre le 27 juin 1893, ne fut adopté par le Sénat que le 15 février 1902, elle n'est point suffisante pour assurer la salubrité publique.

Sans doute, d'après l'article premier de cette loi, le Maire est tenu de déterminer les prescriptions relatives à l'évacuation des matières usées. Il est tenu de prendre un arrêté portant règlement sanitaire ; cette disposition législative est conçue en termes impératifs ; le législateur a voulu qu'elle s'applique à toutes les communes si petites qu'elles soient, car dans celles-ci, la situation sanitaire, comme l'indiquaient MM. Macé et Imbeaux, est encore plus défectueuse que dans les grands centres. Du 14 février 1898 au 19 novembre 1900, deux cents épidémies, plus ou moins graves se sont produites en France : soixante-neuf se sont déclarées dans des communes dont la population est supérieure à deux mille habitants, et cent trente-cinq, les deux tiers, dans des commu-

nes dont la population est inférieure à ce chiffre. Mais qu'arrivera-t-il si le Maire, par ignorance, par incurie, par une économie mal comprise des deniers des contribuables, ou pour toute autre raison, se refuse à connaître ces mesures que la loi lui fait un devoir de prendre ? L'article 9 de la loi du 15 février 1902 va nous l'apprendre ; voici comment les choses vont se passer : Si l'état sanitaire de la commune nécessite des travaux d'assainissement, et nous savons que c'est le cas de l'immense majorité, le Préfet peut intervenir. Il mettra d'abord la commune en demeure de les faire exécuter ; et si cette mise en demeure n'est pas suivie d'effet, il invitera le Conseil départemental d'hygiène à délibérer sur l'utilité et la nature de ces travaux. S'il y a une réclamation de la part de la commune, le Préfet transmettra la délibération du Conseil au Ministre de l'Intérieur. Si celui-ci le juge à propos, la question sera soumise au Comité consultatif d'hygiène publique de France.

Celui-ci, à son tour, procèdera à une enquête ; et, s'il juge que des travaux doivent être entrepris, le Préfet mettra la commune en demeure d'y procéder. Si elle résiste encore, si le Conseil municipal n'a pris dans les trois mois aucune mesure en vue de l'exécution de ces travaux, le Président de la République interviendra à son tour et avec lui le Conseil d'Etat.

« Un décret du Président de la République, rendu en

Conseil d'Etat, ordonnera les travaux dont il déterminera les conditions d'exécution. » Mais tout ne sera pas fini; et les travaux ne seront pas commencés de sitôt, car il faudra savoir qui les payera. Et cette question ne peut être tranchée que par une loi, votée par les deux Chambres.

Les choses, d'ailleurs, dureront plus longtemps encore que ne le laissent croire ces hautes et très nombreuses interventions; car, pour que le Préfet charge d'une première enquête le Conseil départemental d'hygiène, il aura fallu que, pendant trois années consécutives, le nombre des décès de la commune ait dépassé le chiffre de la mortalité moyenne de la France. Le Préfet aura dû attendre trois ans, avant d'inviter la commune à faire des travaux que jugeront indispensables le Conseil départemental d'hygiène, le Comité consultatif de France, le Conseil d'Etat et les deux Chambres.

Toutes ces difficultés de l'application de la loi du 15 Février 1902, on en conviendra, ne sont pas pour faire cesser les conditions d'hygiène lamentables de la plupart de nos villes.

La faute n'en est pas pourtant entière aux municipalités. Jusqu'à ces dernières années, on ne connaissait guère que deux procédés d'épuration des eaux usées : celui par *traitement chimique* fort coûteux et assez peu efficace; et celui de *l'épandage sur sol naturel*, dont les résultats sont excellents, lorsqu'il

est convenablement appliqué, mais qui a le grand inconvénient de ne pouvoir être employé partout ; car, entre autres conditions indispensables, il exige un sol de nature tout à fait spéciale. Aussi, comprend-on jusqu'à un certain point les hésitations des administrateurs de nos cités à contracter de nouveaux emprunts, à établir de nouveaux impôts pour des travaux d'assainissement, dont l'utilité ne peut pas leur échapper, mais dont le succès était si peu assuré.

Aujourd'hui, cette question semble avoir fait un pas décisif grâce à la méthode d'*épuration biologique, des lits bactériens, des lits de contact*, que M. Bechmann a signalée le premier en France, dans la séance du 23 mars 1898 de la Société de médecine publique, que le service d'Assainissement de la Seine a mise à l'étude, il y a bientôt sept ans, et dont il n'a cessé depuis de s'occuper. Il nous paraît très certain, qu'on peut obtenir une épuration totale d'une eau d'égout, en la distribuant de façon judicieuse sur un sol artificiel, qu'il est facile d'établir, à peu de frais, partout, à proximité de toute ville, de toute habitation.

La loi anglaise connue sous le nom de *Public health Act*, frappe de peines afflictives dans leurs personnes et leur biens, les membres des municipalités qui ne se conforment pas aux obligations qu'elle impose pour assurer à la santé publique une

protection efficace. La ville de Lincoln tenta un moment, par crainte de la dépense qui en devait résulter, de résister à l'injonction qui lui était faite d'installer un système d'égouts. Traduits devant *the Court of queen's Bench*, ses magistrats virent bientôt qu'il y allait pour eux de la prison, et ils s'empressèrent de se soumettre. Lincoln est pourvue d'égouts, qui ont coûté trois millions et demi. Le taux de la mortalité y était descendu de 23 à 15 p. 100 ; sa population s'était élevée de 30.000 à 50.000 habitants en 1892, lorsque M. Monod, alors directeur de l'Assistance et de l'Hygiène publique, rappelait ce fait si plein d'enseignements.

En France, une loi aussi sévère aurait peu de succès, si nos législateurs avaient le courage de la voter. Espérons que les pouvoirs publics ne seront pas obligés de menacer les municipalités de la prison ou de l'amende ; et que celles-ci se décideront enfin à prendre ces mesures d'hygiène, absolument indispensables, dont la réalisation assurerait de meilleures conditions d'existence en diminuant le nombre des maladies.

Comme l'indique le titre que nous donnons à ce travail, nous le divisons en quatre parties. Nous montrerons ce que sont les eaux d'égout de Paris, comment on les épure actuellement par *épandage sur sol naturel*, ce qu'on peut attendre du *procédé biologique*, par *lits de contact*, comment enfin on

peut obtenir une épuration totale par épandage continu, absolument continu sur *sol artificiel*, grâce à un double processus mécanique et biologique de tous points comparable à celui qui est réalisé dans l'épuration sur *sol naturel*. C'est le résultat des expériences que nous poursuivons au *Laboratoire de recherches du service d'Assainissement de la Seine*, dont M. Bechmann voulut bien nous confier la direction au mois de juillet 1900. Nous prions M. Colmet-Daage, chef du service technique des eaux et de l'assainissement de la Ville de Paris, qui a bien voulu nous autoriser à le publier, d'agréer l'expression de notre très vive gratitude. MM. les ingénieurs Lœwy et Dacremont, ainsi que M. l'inspecteur Diebold, avec la plus parfaite bonne grâce, ont toujours mis à notre disposition leur expérience et les documents qu'ils possédaient ; nous les prions de croire que nous leur en sommes tout reconnaissant. Nous adressons nos remerciements à M. Bechmann, ancien chef du service technique des eaux et de l'assainissement de la Ville de Paris et à M. Launay, ancien ingénieur en chef de l'assainissement de la Seine, pour les marques d'intérêt qu'ils nous ont données à plusieurs reprises, et pour la bienveillance qu'ils nous ont toujours témoignée.

Les vidanges.

Les eaux de consommation. — Les égouts.

Jusque dans les premières années du xix^e siècle, les maisons et les rues de Paris furent dans un état de saleté extrême, que nous avons peine à concevoir aujourd'hui.

Ce fut sous le règne de Philippe-Auguste, que l'on commença à paver les rues, et à partir de cette époque, les habitants furent tenus de les balayer au droit de leurs maisons. Ils devaient louer à frais commun un tombereau, qui transportait les ordures et les déjections de toute nature hors du mur d'enceinte.

On ne tenait guère compte d'ailleurs de ces règlements de police, et la plupart du temps ces déjections étaient déposées sur le sol même de la rue. L'infection était telle, que pour y remédier, un édit du Parlement en date du 14 juin 1538 prononçait « la confiscation, de fortes amendes et même des peines corporelles, contre les propriétaires qui

jettent de leurs maisons aucunes immondices, soit pissats ou autres quelles qu'elles soient. »

Il était du reste assez difficile aux Parisiens de s'y conformer ; car, dans un très grand nombre de maisons, il n'existait même pas de cabinets d'aisance. Aussi, l'année suivante, parut un édit du roi François I^{er}, qui prescrivait à tous les propriétaires de créer dans chaque maison une fosse destinée à recevoir toutes les déjections. Malheureusement, cet édit eut le sort des autres rares mesures de salubrité prises jusque-là, il fut très mal exécuté et, en 1668, à l'apogée du règne de Louis XIV, il existait des maisons dont les propriétaires se dispensaient d'y installer des fosses ou latrines, « *Quoi qu'ils aient logé dans aucunes desdites maisons jusqu'à vingt ou vingt-cinq familles différentes, ce qui causait en la plupart si grande puanteur, qu'il y avait lieu d'en craindre les inconvénients fâcheux et surtout en des temps suspects* ». Ces fosses étaient d'ailleurs, construites de la façon la plus défectueuse. Pas plus que celles qui existent aujourd'hui à Bordeaux, et dont M. Lande signalait la présence, elles ne présentaient aucune étanchéité, et les liquides allaient se perdre dans le sol. Il en fut saturé à tel point, que la plupart des eaux de puits de Paris contenaient, il y a encore cinquante ans, de 30 à 40 milligrammes de produits ammoniacaux, c'est-à-dire, le double de ce que contiennent actuellement les eaux d'égout du collecteur de Clichy.

L'établissement de ces fosses entraînait la création d'un système de vidanges. Lorsqu'elles étaient pleines, des vidangeurs, qu'on appelait alors *les maîtres fy-fy, les maîtres des basses œuvres*, les vidaient avec des seaux, en remplissaient des tonneaux qu'ils allaient jeter dans les voiries, et *dé-fense était faite au maître fy-fy, de ne laisser espandre par les rues, ordures ou excréments, sur les peines de dix livres parisis d'amende.*

Quant aux voiries, elles étaient assez copieusement pourvues de décombres, de déjections, d'immondices de toutes sortes, pour avoir formé des buttes qui existent encore aujourd'hui : celles de la rue Meslay et Bonne-Nouvelle, celle de la rue Bail-lis, celle des Coupeaux. La plus célèbre était celle de Montfaucon, où étaient installés les *seize pilliers de la justice du roi*, et où les corps des suppliciés restaient suspendus au gibet jusqu'à ce qu'ils eussent été dévorés par les oiseaux, ou qu'ils fussent tombés en pourriture. Elle devint, sous Louis XIII, la seule voirie de Paris. Transportée par Soufflot, en 1761, au pied de la butte Chaumont, elle disparut en 1848 et les vidanges portées dans un dépotoir, installé à la Villette, étaient ensuite expédiées par bateau, sur le canal de l'Ourcq, dans la forêt de Bondy.

Le défaut d'étanchéité des fosses n'était point leur seul inconvénient. Elles présentaient, elles présen-

tent, car il en existe encore un grand nombre à Paris, le gros ennui de laisser pénétrer dans toute la maison les odeurs infectes produites par la décomposition des matières qu'on y laisse séjourner de longs mois. A ces *fosses fixes*, on substitua peu à peu, vers 1830, la *fosse mobile*, dont les dimensions sont réduites à celles d'une futaille. Celle-ci se remplit donc plus vite, et on doit la remplacer chaque huit ou dix jours, par un récipient vide. L'inconvénient de la putréfaction, produite par le long séjour des matières dans les fosses fixes, disparaît donc en grande partie; mais, l'eau reste bannie des cabinets d'aisance, car si on lavait, ce qui en aurait tant besoin, la fosse serait remplie trop vite et les frais de vidange deviendraient trop onéreux.

Vers 1860, on employa la *tinette filtrante*, dont l'usage fut autorisé par arrêté du 2 juillet 1867, et qui modifia de la façon la plus heureuse les conditions d'hygiène des habitations parisiennes. Avec elles, on peut laver, user de l'eau à volonté, et l'emploi de fermetures hydrauliques qu'elle permet, place le logement à l'abri des mauvaises odeurs.

Quel que fût le système adopté, il fallait toujours procéder à la vidange de ce récipient infect, car la tinette filtrante laisse bien écouler les liquides à l'égoût mais elle retient les solides. Si la pompe avait remplacé depuis 1829 le seau *du maître fy-fy*, les visites de celui-ci n'avaient point disparu, ni le ta-

pagé nocturne des lourdes et hideuses voitures qui roulent à grand fracas leur contenu immonde, troublant le sommeil des habitants des quartiers où elles circulent. Le seul moyen de supprimer ce transport des matières à la voirie de Bondy, était de faire aboutir directement le tuyau de chute dans l'égout ; ce qui réalise la première condition de l'assainissement, l'éloignement de tous les déchets de la vie dès leur formation. Ce système, dit : **du tout à l'égout**, devint obligatoire par la loi du 10 juillet 1894.

Les eaux de consommation. — La quantité d'eau dont on s'était contenté longtemps devenait tout à fait insuffisante avec les nouvelles habitudes de propreté qui naissaient, et se développaient enfin ; et il fallait pourvoir aux besoins, chaque jour croissants, de la consommation privée. D'autre part, le cube des eaux usées augmentant parallèlement, et les anciens modes d'évacuation étant supprimés ou devenant insuffisants, il fallait organiser un système nouveau de canalisation pour éloigner les *nuisances*.

A la fin du ^{xviii}^e siècle, Paris, qui comptait 550.000 habitants, recevait en eau potable quinze litres par personne. L'aqueduc d'Arcueil, inauguré en 1624 par Louis XIII, conduisait les eaux des coteaux de Rugis, l'Hay, Arcueil, Cachan. Les aqueducs des Prés-Saint-Gervais et de Belleville, construits vers le ^{xvi}^e siècle par le monastère de Saint-Laurent et l'abbaye de Saint-Martin-des-Champs,

débitaient les eaux des sources du Nord. Les pompes de la Samaritaine et celles de Notre-Dame, construites au ^{xvii} siècle, actionnées par une roue que le courant du fleuve faisait mouvoir, ainsi que les pompes de Chaillot et celles du Gros-Cailloü, installées vers 1780, refoulaient les eaux de la Seine. Enfin, Paris s'alimentait encore avec l'eau des puits, qui était aussi contaminée que possible : soit en tout 12.000 mètres cubes par jour.

Au commencement du ^{xix} siècle, un arrêté du premier Consul, en date du 25 thermidor an XI (13 août 1802), ordonnait la dérivation de la rivière de l'Ourcq ; et six ans plus tard, ces eaux arrivaient au bassin de la Villette, fournissant un débit de 60.000 mètres cubes. En 1854, la population avait doublé ; elle avait à sa disposition 80.000 mètres cubes. Les eaux de la Seine et de l'Ourcq furent alors affectées au service public (industries, cours, écuries, jardins) ; et on décida la dérivation de la Dhuis et de la Vanne. Ces travaux, conçus par l'ingénieur Belgrand, furent rapidement exécutés. En 1865, la Dhuis, captée à 130 kilomètres de Paris, aux environs de Château-Thierry, déversait 25.000 mètres cubes par jour dans le réservoir de Ménilmontant, construit à 108 mètres d'altitude, soit à 175 mètres plus haut que les quais de la Seine. En 1874, 80.000 mètres cubes étaient fournis par la Vanne, qui, des environs de

Troyes et de Sens à 171 kilomètres de Paris, était conduite dans le grand réservoir de Montrouge, établi à 80 mètres d'altitude. La situation de ces réservoirs permettait la distribution de l'eau dans les quartiers les plus élevés. De plus, des usines élévatoires, construites en 1863 et 1864, refoulaient 70.000 mètres cubes d'eau de Seine et de Marne, employée comme celle de l'Ourcq, pour le service public. Par le captage de nouvelles sources de la vallée de la Vanne, par la dérivation des eaux de l'Avre, du Loing, du Lunain ; par l'installation des bassins filtrants de Saint-Maur et d'Ivry, les 2.600.000 habitants de Paris peuvent aujourd'hui disposer de 300.000 mètres cubes par jour, d'eau de source ou d'eau filtrée, et de 530.000 mètres cubes d'eau de rivière, soit en tout 335 litres par habitant, au lieu de 15 litres, dont il y a cent ans les Parisiens devaient se contenter.

Les Egouts. — Le terrain sur lequel s'élevait Paris au Moyen Age, étant peu accidenté, situé presque au niveau des rives de la Seine, des inondations envahissant toute la cité se produisaient à la moindre crue du fleuve. Pour se soustraire à ce danger, on éleva sur ses bords des sortes de digues, à l'aide des décombres, des platras, des détritits les plus variés. Les eaux de pluie, les eaux ménagères, les eaux usées qui s'écoulaient jusque là en Seine, prirent alors, par le changement de pente, une direc-

tion nouvelle. Elles circulaient à travers toute la ville, dans des fossés à ciel ouvert, qui débouchaient dans deux ruisseaux, au pied des coteaux de Belleville. L'un se dirigeait vers l'Est et atteignait les fossés de la Bastille, l'autre, après un long détour, se déversait dans la Seine vers le ponceau de Chaillot, au niveau du pont actuel de l'Alma. Ce dernier ruisseau, qui pendant longtemps a reçu la presque totalité des eaux de la rive droite, était appelé le Grand Egout de Ceinture. Sur la rive gauche, les eaux usées allaient soit dans les fossés des fortifications, soit dans la Bièvre, qui se déversait dans la Seine au niveau du pont actuel d'Austerlitz, soit directement dans le fleuve. Ainsi, Paris était sillonné par de nombreux canaux où ces eaux croupissaient, car la pente était très faible.

A la fin du xiv^e siècle, sous Charles VI, le Prévôt des Marchands, Hugues Aubriot, faisait voûter le canal qui recevait les eaux des Halles. François Miron, sous Henri IV, faisait recouvrir, à ses frais, l'égout du Ponceau, entre les rues Saint-Martin et Saint-Denis. Sous Louis XIII, on recouvrit celui de la rue Vieille-du-Temple. Il y avait sous Louis XIV 2.353 mètres d'égouts couverts et 8.035 mètres d'égouts à ciel ouvert.

En 1740, Turgot fit murailler et daller le grand égout de Ceinture; et les habitants des quartiers voisins en firent exécuter la voûte à leurs frais. De

plus, à la tête du nouvel égout, on établit un vaste réservoir alimenté par les eaux des coteaux de Belleville : on l'ouvrait brusquement lorsqu'il était plein, de façon à produire une chasse puissante qui nettoyait ainsi l'égout. Le roi Louis XV voulut visiter les travaux : *Sa Majesté descendit de carrosse sur le rempart, et fut reçue par MM. le Prévôt des Marchands, échevins, procureur du Roi et greffier, tous en manteau et en rabat plissé. Sa Majesté fut conduite à la tête du grand égout et vit sortir l'eau du réservoir pour entrer dans le canal de l'égout. M. le Prévôt des Marchands avait fait construire un petit pont de charpente sur le canal même, pour que Sa Majesté fût plus en face ; et il était couvert par le côté et par le bas de tapis et de deux tapis de velours galonnés d'or pour que Sa Majesté pût s'appuyer et regarder d'un côté et de l'autre. Le roi resta en cet endroit environ une grosse demi-heure, pendant laquelle il ne cessa de parler à M. le Prévôt des Marchands sur la beauté de cet ouvrage.*

Ces travaux de Turgot eurent les plus heureux résultats, car le grand égout s'opposait au développement de Paris vers le Nord et l'Ouest : C'est grâce à eux qu'on put réunir à la ville les terrains sur lesquels s'élevèrent les quartiers de Montmartre, Chaussée d'Antin, Madeleine, Champs-Élysées.

A la fin du xviii^e siècle, la longueur totale des

égouts voûtés était de 26 kilomètres. Ce développement des égouts paraissait alors une chose merveilleuse et Parent-Duchatelet écrivait plus tard avec admiration : « ...Telle est l'histoire des immenses ouvrages qui ont été entrepris pour l'embellissement et l'agrandissement de Paris et qui n'ont pu être exécutés que dans l'espace de quatre cents ans ! »

Sous la Révolution, ces travaux de voirie ne furent pas continués.

Sous l'Empire, de nouveaux égouts furent construits qui se dirigeaient encore vers l'égout de ceinture.

L'insuffisance de ce collecteur apparaissait chaque jour, à mesure que se développait le réseau ; et les points bas de certains quartiers, Chaussée d'Antin, Faubourg du Temple, Faubourg Saint-Honoré, se trouvaient submergés à la moindre averse.

Sous Louis-Philippe, pour le décharger, on établit de nombreuses lignes descendant directement dans la Seine, dont les eaux dans la traversée de Paris étaient jusque-là peu infectées.

Le réseau d'égouts présentait alors, vers 1840, une longueur d'environ 40 kilomètres. « A cette époque, dit Belgrand, les chaussées n'avaient pas la forme bombée qu'elles ont aujourd'hui. Un ruisseau occupait le milieu de toutes les voies publiques, de petits ruisseaux partaient de chaque maison et versaient dans le collecteur commun le flot impur

des eaux ménagères qui, en temps de sécheresse, croupissaient longtemps en larges flaques dans les inégalités d'un pavé mal entretenu. Les voitures, entraînées par la pente, tenaient invariablement une de leurs roues dans cette fange liquide et en faisaient jaillir d'épaisses nappes qui retombaient sur les passants. Lorsqu'il pleuvait, c'était naturellement pis encore, le milieu de chaque rue était occupé par un large torrent d'eau boueuse, qu'on franchissait sur des ponts volants, et qui allait s'engouffrer dans une des rares bouches d'égout disposées de loin en loin aux points bas de la ville. »

Les égouts ne recevaient donc, jusqu'en 1850, que les eaux de pluie, les eaux de lavage des rues, les eaux ménagères. Quant aux liquides des fosses et aux matières solides qui n'étaient pas converties en poudrette, ou en sulfate d'ammoniaque, ils encombraient la voirie de Bondy. Cependant, comme le cube des vidanges augmentait considérablement et qu'on ne pouvait étendre indéfiniment les proportions de la voirie, un arrêté du 28 décembre 1850 autorisait l'écoulement à l'égout des liquides des fosses, mais en spécifiant bien qu'ils devraient être soumis au préalable à un traitement par les sels de fer ou de zinc qui les désinfecteraient. Quelques années plus tard, l'emploi des *tinettes filtrantes* ayant été autorisé, l'égout recevait une grande partie de matières fécales qui étaient ainsi en majeure partie

rejetées dans la Seine, dans sa traversée même de Paris. Donc, progressivement à l'assainissement de l'habitation, succédait l'infection de la Seine.

Comme en 1851 on construisait la rue de Rivoli, on en profita pour établir sous cette voie nouvelle un collecteur qui devait recueillir tous les égoûts de la rive droite et les rejeter dans le fleuve, non plus dans l'intérieur de la ville, mais en aval. Le défaut de pente empêcha de le terminer et il ne fut poussé que jusqu'à la Concorde. La situation restait donc à peu près la même, lorsque Belgrand proposa à l'administration municipale un projet, qui consistait à profiter du long détour que fait la Seine en se repliant sur elle-même, pour diriger les eaux beaucoup plus en aval, par une galerie plus courte, et de gagner toute la différence de pente du fleuve depuis la Concorde jusqu'à un point que l'on devait déterminer. Ce projet fut adopté, il est la base même du système d'assainissement de Paris tel qu'il fonctionne aujourd'hui. Il fut décidé que toutes les eaux de la rive droite, au lieu de se jeter dans la Seine à la Concorde, seraient reçues par une grande galerie qui longerait la rue Royale et le boulevard Malesherbes (qui n'était pas encore terminé), passerait en souterrain sous la butte Monceau et déboucherait dans la Seine, à l'aval du pont d'Asnières.

L'ensemble du projet comprenait un émissaire général auquel aboutissaient des collecteurs secon-

dares qui étaient alimentés de la manière suivante : De chaque maison, une galerie souterraine vient déboucher dans l'égout public, situé au milieu de la rue, quand celle-ci est de largeur ordinaire, sur chacun des deux côtés dans les rues qui ont plus de 20 mètres de largeur. Cet égout primaire longe donc la rue jusqu'à la rencontre d'un égout secondaire, qui va dans un tertiaire, et ainsi de suite, jusqu'à un collecteur secondaire.

L'émissaire général construit par Belgrand, de 1857 à 1861, partait de la Concorde et aboutissait dans la Seine en face d'Asnières qui n'était alors qu'un village. C'est un tunnel qui a 4.877 mètres de long, 4 m. 40 de hauteur ; sa largeur est de 5 m. 60.

Dans cet émissaire arrivaient donc les divers collecteurs secondaires. Celui des Côteaux, construit de 1861 à 1866, recueillait les eaux des quartiers de l'Est. Il longeait le quai Jemmapes, depuis le boulevard Voltaire jusqu'à la rue de la Douane, traversait le canal Saint-Martin, suivait les rues du Château-d'Eau, Richer, du Faubourg Montmartre, Saint-Lazare, rejoignait enfin par la rue de la Pépinière au boulevard Malesherbes le collecteur général.

Le collecteur des quartiers du Nord partait de la rue Ménilmontant, descendait les boulevards de Belleville et de la Villette, les rues d'Allemagne et de Crimée, sortait de Paris par la porte de la Chapelle. Il aboutissait dans le collecteur général qui se déver-

sait dans la Seine en face de Villeneuve-la-Garenne. Aujourd'hui il conduit ses eaux, par la gravité, dans la plaine de Genevilliers, où nous les retrouverons.

Le collecteur des Petits-Champs et le grand égout Sébastopol drainaient les eaux du Marais et du Centre.

Sur la rive gauche, un autre collecteur, le collecteur Marceau, recevait dans la rue Geoffroy-Saint-Hilaire, la Bièvre qui jusqu'à ce jour, 28 mai 1867, déversait dans la Seine les eaux d'égout qu'elle avait reçues dans son parcours à travers la ville. Il suivait la rue des Ecoles, la rue Monge, le boulevard Saint-Michel, et longeait les quais jusqu'au pont de l'Alma, en recueillant les eaux de la rive gauche. Il traversait alors la Seine dans un siphon formé de deux tubes en tôle de un mètre de diamètre, se dirigeait vers l'Etoile par l'avenue Marceau, qui était à cette époque l'avenue Joséphine, et gagnait par Levallois et la rue Gide le collecteur général.

En 1878, lorsque Belgrand mourut, 6.500 hectares sur les 7.500 que renferme l'enceinte de Paris, étaient drainés, et leurs eaux, rejetées en aval dans la Seine par un réseau d'égouts de 700 kilomètres de long.

Depuis 1878, la construction des égouts n'a cessé de se poursuivre. Le siphon de la Concorde, terminé en 1896, recueillait celles des eaux de la rive

gauche qui n'allaient pas dans le siphon de l'Alma.

De 1894 à 1899, le collecteur de Clichy était construit. Il part de la rue Saint-Lazare, se dirige vers le coteau des Batignolles, traverse Clichy sous le boulevard National et arrive rue Fournier à l'**usine élévatoire des eaux d'égout**, où sont reçues également depuis 1899 les eaux du collecteur Marceau et celles du collecteur général de Belgrand, qu'on appelle aujourd'hui le collecteur d'Asnières.

Enfin, comme le défaut de pente empêchait dans les points bas de la ville les collecteurs d'écouler les eaux, trois usines élévatoires furent construites qui les relevaient, celle de la place Mazas, dans le siphon du pont Morland ; celle du quai des Orfèvres, dans le siphon de la Cité ; celle de la rue Alain-Chartier, dans le collecteur Rapp.

Il ne suffisait pas d'avoir construit de vastes égouts, il était absolument indispensable de les tenir dans un parfait état de propreté, pour éviter aux nombreux ouvriers qui ont à y circuler tout danger d'asphyxie ; et pour empêcher l'accumulation des matières putrescibles qu'un séjour, même de courte durée, ferait fermenter. La présence des boues et des sables provenant des chaussées rend cet entretien particulièrement difficile, car si les matières légères sont entraînées par le courant, les sables, les graviers restent sur le radier et y formeraient très rapidement, si on ne s'y opposait, des barrages qui feraient accumuler l'eau en

amont et rendraient ainsi l'égout impraticable. Belgrand imagina un système de nettoyage mécanique employé encore aujourd'hui. Il consiste en une vanne mobile qui produit une retenue d'eau, et par suite, une chute qui augmente la vitesse du courant dont la force devient assez grande pour mettre les sables en mouvement. En avant de la vanne, il se forme une sorte de dune mouvante qui se met en marche sous l'effet de ce courant factice. Cette vanne est portée soit par un bateau, soit par un wagon roulant sur des rails fixés aux arêtes de la cunette de l'égout.

Pour le nettoyage des siphons, le bateau vanne ou le wagon vanne sont remplacés par une boule en bois que l'on introduit de temps en temps à l'extrémité amont du siphon. Celle du siphon de l'Alma a 0 m. 85 de diamètre et pèse 200 kilogrammes. Comme son poids est moindre que celui de l'eau, elle roule en s'appuyant sur l'arête supérieure du cylindre. Lorsqu'elle rencontre un obstacle, la vitesse de l'eau s'accélère en dessous, comme sous la vanne, et produit une chasse puissante. Les sables, poussés jusqu'à une chambre mobile, sont extraits avec des dragues, chargés sur des bateaux, puis portés aux décharges publiques.

Entretenus de la sorte et aérés par de nombreuses bouches qui s'ouvrent dans la rue sous les trottoirs, les égouts de Paris, dont le nom évoque pour les

personnes qui les ignorent un sentiment de répugnance et d'horreur; sont de vastes voies souterraines, éclairées à l'électricité, qui excitent l'admiration des touristes qu'on y promène en train de plaisir, en bateau ou en wagon.

L'évacuation rapide des boues et l'aération suppriment toute odeur désagréable, celle que l'on perçoit est fade, nullement fécaloïde. La composition de l'air en est très sensiblement la même que celle de l'air de nos rues : tout au plus, y a-t-il une très légère augmentation d'acide carbonique et d'ammoniaque. Quant aux germes microbiens, contrairement à ce qu'on pourrait supposer, ils y sont moins nombreux que dans l'air de nos rues et de nos places publiques, ainsi que l'ont établi les expériences de M. Miquel sur l'air de l'égout du boulevard Sébastopol et celui de la place Saint-Gervais :

<i>Egout Sébastopol</i>		<i>Place St-Gervais</i>	
Bactéries.	Moisissures.	Bactéries.	Moisissures.
Moyen. mens ^l : 3.800	2.535	6.975	2.075

L'air de l'égoût est donc plus pur que celui de nos rues, et la mortalité n'est pas plus élevée chez les égoutiers que dans les autres classes de la population parisienne.

Les égoûts ne servent pas seulement à l'évacuation rapide et souterraine de toutes nos souillures, les dimensions grandioses que leur a données Bel-

grand ont permis d'y installer facilement les conduites d'eau de distribution, les tuyaux de transmission de la force motrice, les tubes pneumatiques et tout le réseau des tubes télégraphiques et téléphoniques. Actuellement, leur développement total atteint 1.400 kilomètres et celui des collecteurs généraux et secondaires 86 kilomètres.

On voit que les successeurs de Belgrand ont su mener à bonne fin l'œuvre du maître, et réaliser son projet, que la mort l'avait empêché d'achever : faire de Paris la capitale la plus propre du monde.

LES EAUX D'ÉGOUT.

Leur composition. — Méthodes d'analyse.

— Action des microbes sur les eaux. —

Autoépuration des eaux d'égout.

L'installation du **Tout à l'égout** avait très notablement modifié le débit des égouts parisiens. Les eaux devenaient beaucoup plus abondantes et beaucoup plus sales, car une très grande partie des substances azotées, substances éminemment fermentescibles, étaient jusqu'à ce jour transportées à Bondy. Actuellement, les collecteurs déversent 700.000 mètres cubes, par jour en moyenne, dans les bassins de Clichy.

Cette masse énorme, si elle coule constamment, n'a point cependant un débit uniforme. Le volume en varie d'une saison à l'autre, d'un jour à l'autre, et il n'est pas le même, aux divers instants de la journée. Les eaux de lavage de la voie publique, abondantes pendant le jour, cessent complètement la nuit; les eaux industrielles ne se produisent qu'aux heures de travail des usines. Quant aux eaux

ménagères, elles s'écoulent surtout aux heures qui suivent le lever et les repas de la population parisienne. C'est ainsi que le flot se produit à 10 heures du matin et à 3 heures de l'après-midi ; que le débit est faible le dimanche ; surtout abondant le jeudi et le samedi, à cause des marchés ; beaucoup plus important l'été que l'hiver, où il varie quelquefois dans la proportion du simple au double.

Elle contient les détritns des cuisines, des lavoirs, les eaux rejetées par les industries qui s'exercent dans plus de 4.000 établissements, celles des écuries et des 55.000 maisons qui n'ont ni fosse fixe, ni fosse mobile. Il faut encore y ajouter les 38 millions de mètres cubes d'eau de pluie qui tombe annuellement sur Paris, et qui entraîne les souillures des rues, des cours, des jardins. C'est une grosse rivière qui coule continuellement, roulant dans ses flots grisâtres les objets les plus hétérogènes : des bouchons en nombre invraisemblable, que l'on y pêche avec soin, des bouts d'allumettes, des résidus de légumes, des pailles, des sables, des papiers. On a dit que la fermentation développée dans les égouts était suffisante pour détruire ces derniers, que l'on n'y retrouve en effet qu'en très petite quantité. Le papier jeté à l'égout, roulé avec le sable et les boues, se déchire, s'effiloche et se disloque bientôt complètement par frottement incessant sur toutes les aspérités avec lesquelles il est ainsi mis en con-

tact. Mais, s'il peut les éviter, par sa forme ou ses dimensions, il se retrouve intact au débouché des collecteurs et dans les champs d'épandage; les *conpetti* en sont un exemple certain. Il n'y a donc pas décomposition de la cellulose du papier dans l'égout.

Ce qui constitue l'eau d'égout et son danger, c'est qu'elle contient des millions de germes microbiens, pathogènes ou saprophytes, des matières putrescibles, qui sont déjà en voie de décomposition et des produits gazeux dont ces putréfactions sont précisément l'origine.

C'est à l'un d'eux, l'hydrogène sulfuré, qui est extrêmement toxique, que l'on a attribué longtemps les accidents connus sous le nom de *plomb*, auxquels sont exposés les vidangeurs au moment où ils nettoient les anciennes *fosses fixes*. Lorsque, à l'aide de barres de fer, ils ont brisé la couche épaisse de matières fécales, qu'ils appellent le chapeau, il se produit un brusque dégagement des gaz emprisonnés sous cette croûte, et l'ouvrier tombe instantanément comme une masse de plomb. On admet aujourd'hui que cette mort est le résultat d'une asphyxie par privation brusque d'oxygène, et non une intoxication par l'hydrogène sulfuré. C'est précisément un des avantages du Tout à l'égout de supprimer ces accidents, car les égouts sont si largement aérés qu'ils ne présentent, comme nous l'avons vu, aucun

danger pour les ouvriers très nombreux qui y sont occupés à divers travaux.

Les produits gazeux de putréfaction n'en sont pas moins très dangereux et fort désagréables par l'odeur repoussante qu'ils communiqueraient à ces eaux, si l'égout était mal aéré.

Quant aux matières organiques de l'eau, nous ne savons rien de leur nature intime. Ce sont des protéiques, des hydrocarbures, des matières grasses. Les unes et les autres ont subi, dès leur entrée dans le canal digestif, l'action des divers sucs digestifs : la salive, le suc gastrique, le suc pancréatique, la bile, le suc intestinal, l'action aussi des microbes si nombreux qu'elles ont rencontrés sur leur route. La seule chose que nous sachions exactement, c'est qu'elles sont formées de carbone, d'oxygène, d'hydrogène, d'azote, de soufre, de phosphore, qui forment des combinaisons organo-métalliques de la plus extrême complexité avec le fer, la chaux, la magnésie, la potasse, la soude qui existaient dans les aliments.

Comme nos recherches nous obligeaient à analyser un très grand nombre d'échantillons, nous avons dû choisir, parmi les très nombreuses méthodes connues, celles qui, étant à la fois précises et rapides, nous permettaient d'apprécier avec une exactitude suffisante le degré de pollution d'abord, d'épuration ensuite des eaux d'égout parisiennes.

Nous nous sommes surtout attaché à déterminer

la matière organique, l'ammoniaque, l'azote nitreux, l'azote nitrique, l'oxygène dissous. Dans quelque cas nous dosons le chlore, l'azote albuminoïde, l'azote organique.

La numération des bactéries était faite après ensemencement sur gélatine nutritive en boîtes de Pétri et une durée de cinq jours à l'étuve à 21°. Le bacille coli et le bacille d'Eberth étaient recherchés d'après la méthode de Péré.

Nous avons dosé la **matière organique** en faisant agir, suivant la méthode généralement employée en France, pendant dix minutes à l'ébullition, en milieu acide, un poids connu de permanganate de potasse sur l'eau à analyser. Après l'attaque, nous cherchions quelle était la quantité de permanganate décomposé et nous savions par suite la quantité d'oxygène que la matière organique avait consommé. En réalité, cette méthode n'indique pas la teneur en matière organique, mais la quantité d'oxygène empruntée au permanganate pour brûler cette matière organique : aussi appelle-t-on quelquefois ce dosage celui de l'*oxydabilité*.

En Angleterre, les chimistes font agir le permanganate à froid pendant trois minutes d'abord ; puis ils recommencent le dosage en prolongeant l'attaque pendant quatre heures. Ce procédé, beaucoup plus long, ne présente aucun avantage sur celui employé en France et nous ne l'avons jamais suivi.

Nous dosons l'**ammoniaque**, les **nitrites**, les **nitrates**, d'après les méthodes colorimétriques de Nessler, de Tromsdorff, de Grandval et Lajoux ; l'**azote albuminoïde**, par celle de Wanklyn et Chappmann ; l'**azote organique**, par celle de Kjeldahl ; l'**oxygène dissous**, par la méthode de Albert Lévy ; enfin le **chlore**, par le nitrate d'argent avec le chromate jauné de potasse comme indicateur.

Nos résultats sont exprimés en milligrammes et rapportés au litre, savoir : l'**azote albuminoïde**, l'**ammoniaque** en AzH^3 ; les **nitrites** en Az^2O^3 ; les **nitrates** en Az^2O^5 ; l'**azote organique** en Az ; le **chlore** en Cl .

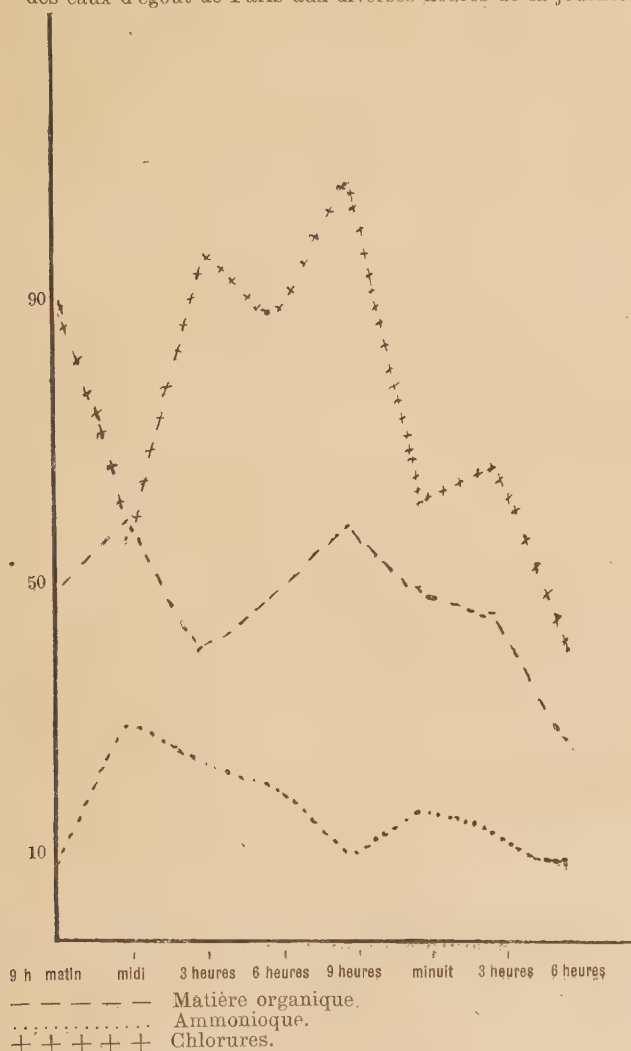
Le dosage de l'**azote albuminoïde** et celui de la **matière organique** ne sont, comme le disait M. Duclaux, qu'approximatifs et conventionnels. Comme d'autre part on opère sur une eau filtrée au papier et que la filtration varie avec chaque filtre ; que de plus, la prise d'essai est généralement très faible, on voit que l'erreur la plus minime, celle que personne ne peut éviter, ne portant que sur quelque dixième de milligrammes, se traduira par des centaines de kilogrammes, lorsque le résultat de l'analyse sera rapporté, non plus au litre, mais aux 700.000 mètres cubes $\times$ 365 d'eau, qui arrivent chaque année aux bassins de Clichy. L'erreur nous paraîtra plus colossale encore, lorsque nous verrons

les variations de l'eau d'égout que montrent nos analyses du 17 et 18 février 1907, dont les résultats sont consignés dans le tableau et les courbes suivantes :

VARIATIONS DE LA COMPOSITION DES EAUX D'ÉGOUT DE PARIS
AUX DIVERS HEURES DE LA JOURNÉE.

	Matières organiques.	Ammonia- ques.	Chlore	Matières insolubles.
9 h. matin.	49	10	90	1.000
Midi.	58	30	55	200
3 heures ...	40	25	95	400
6 heures ...	47	22.5	85	800
9 h. soir....	56	12.5	105	200
Minuit	48	17.5	60	200
3 heures ...	45	15	65	1.000
6 heures ...	29	11.5	40	600
Résultats en milligrammes par litre,				

Fig. 1. — Graphique montrant les variations de la composition des eaux d'égout de Paris aux diverses heures de la journée.



Une nouvelle cause d'erreur, qui n'a pas encore été signalée jusqu'ici, croyons-nous, résulte de **l'action des microbes sur l'eau** dans laquelle ils évoluent.

On sait, depuis les recherches de Pasteur et Joubert, que les eaux de source sont amicrobiennes ; mais entre le moment où la source jaillit du sol et celui où l'eau est consommée, les chances de contamination sont si multiples, et si rapide la multiplication des germes microbiens, que toutes les eaux d'alimentation en contiennent un nombre élevé. L'exemple est surtout frappant de plusieurs de nos eaux minérales les plus connues qui, captées et surveillées sans doute avec le soin le plus minutieux, renferment quelquefois plus de quarante mille germes microbiens par centimètre cube, dont le bacille coli, comme nous l'ont montré nos propres analyses. Ce chiffre, qui les place d'après l'échelle de Miquel dans la catégorie des eaux suspectes, est très inférieur encore à celui indiqué par MM. Roman et Colin, qui avaient trouvé dans certaines eaux de Vichy jusqu'à six cent mille bactéries par centimètre cube ! Que des êtres vivants ne puissent vivre et se développer aussi nombreux dans une eau, sans apporter dans sa composition des changements importants cela ne semble point douteux.

Les bactéries si nombreuses des eaux usées n'y restent pas inactives, elles s'y multiplient, et s'y nour-

rissent aux dépens de ces substances si variées que nos réactifs sont impuissants à nous faire connaître de façon bien précise ; elles les décomposent, provoquent la disparition de certains composés, la formation de certains autres et peuvent arriver ainsi à une véritable épuration spontanée des eaux les plus souillées. Ces transformations sont quelquefois très rapides, s'effectuant, dans certains cas, dans l'espace de vingt-quatre heures ; de sorte qu'une eau analysée aujourd'hui présentera demain une composition différente.

Ces changements, quelquefois considérables, n'ont d'ailleurs rien de fixe. Ils varient avec les espèces microbiennes, avec les substances qu'elles rencontrent dans l'eau.

Ces transformations seront vraisemblablement plus accusées, si l'eau est riche en matière organique, quoique nous sachions combien le liquide de Raulin est un excellent milieu de culture et que les microbes de Winogradsky ne se développent que sur milieu minéral. Elles s'effectuent plus vite à température voisine de 30° qu'aux températures basses. L'air, la lumière ont aussi sur elle la plus grande influence. C'est dire que l'étude des modifications subies par une eau sous l'action des microbes qui la peuplent est extrêmement complexe et difficile. Pour la mener à bien, il faudrait d'abord connaître ces divers microbes, les plus actifs tout au moins, et,

chaque jour, il faudrait faire une analyse chimique et bactériologique de l'eau, dont un échantillon serait exposé à l'air, l'autre à l'abri de l'air ; étudier en outre, pour chacun d'eux, l'influence de la température et celle de la lumière. Il faudrait avoir à sa disposition une vaste installation, car ces recherches devraient être poursuivies de longs mois.

Nous l'avons tenté cependant, mais il nous a été impossible d'exécuter, comme nous l'aurions voulu, le programme que nous nous étions tracé.

Si incomplets qu'ils soient, nos résultats nous paraissent néanmoins assez instructifs : ils permettent d'avoir une idée assez nette de l'action méconnue ou négligée jusqu'ici des microbes sur les eaux.

Il semble tout d'abord que la flore microbienne d'une eau intervienne pour en modifier l'aspect physique.

Si on filtre de l'eau d'égout, grisâtre, jaunâtre, sur un filtre ordinaire en papier, elle apparaît, après deux ou trois filtrations, claire et puante, mais toujours opaline ; et cette opalescence résiste à de très nombreuses filtrations.

Si on introduit de l'eau d'égout dans un flacon, et qu'on l'additionne d'un composé chimique pouvant s'opposer au développement, à la vie des bactéries qui se trouvent dans cette eau, tel que le formol, par exemple, sans agir sur sa composition chimique, on voit cette eau se clarifier au bout de

quelques jours par sédimentation. Mais toujours, même après un séjour de cinq ans dans ce flacon, cette eau restera opaline, que le flacon soit ouvert ou qu'il soit fermé; qu'il soit exposé à la température de l'étuve ou à celle du laboratoire, à la lumière ou à l'obscurité.

Si nous portons à l'étuve à 30° un flacon rempli d'eau d'égout de Paris et hermétiquement bouché, nous constaterons que, au bout d'un temps variant de quinze heures à quatre jours, l'eau qui était grisâtre devient noire, en même temps que les matières insolubles se déposent au fond du flacon. Puis, peu à peu, en un temps qui varie de quatre à huit jours, ce dépôt augmente, il devient très noir et l'eau se clarifie : douze ou quinze jours plus tard, elle sera devenue absolument claire et limpide, sans aucune opalescence. Si on débouche le flacon, on perçoit une odeur fécaloïde très accusée.

Les matières organiques ont été attaquées par les microbes que contenait cette eau : aux dépens du soufre de ces matières albuminoïdes, il s'est formé de l'hydrogène sulfuré qui s'est combiné aux composés organiques ferrugineux, qui existent dans toutes les eaux d'égout, pour donner un sulfure organo-métallique noir ; celui-ci par sédimentation a entraîné avec lui les particules les plus ténues et l'eau s'est clarifiée comme par un collage.

Si nous avons laissé notre flacon *débouché*, la co-

loration noire apparaîtra beaucoup *plus lentement*, elle sera toujours beaucoup moins accusée. Au bout de huit, dix, douze jours, nous la verrons devenir blanchâtre, laiteuse, présentant l'aspect d'une eau dans laquelle on aurait dissout du savon. Puis, peu à peu, cette coloration blanchâtre va disparaître, et quinze ou dix-huit jours après la mise en flacon, l'eau sera devenue complètement claire, limpide, inodore ; au fond du flacon il y aura un dépôt brunâtre.

A la *température ordinaire* du laboratoire, les choses se passeront autrement. En flacon *bouché*, la coloration noire se produira très lentement et l'eau ne se clarifiera jamais ; elle restera toujours opaline. En flacon *débouché*, la clarification deviendra totale, sans aucune opalescence.

Si nous exposons nos flacons à la lumière solaire, à la fenêtre du laboratoire, l'eau du flacon ouvert se peuplera d'algues vertes et prendra bientôt elle-même cette couleur. L'eau du flacon bouché, s'il est bouché hermétiquement, restera incolore, toujours opaline. On peut donc dire, laissant de côté la sédimentation mécanique, que :

1° Une eau d'égout additionnée d'un *antiseptique* qui n'en modifie pas la composition chimique (avec le fluorure de sodium les résultats seraient différents) *conserve le même aspect physique*, celui qu'elle aurait si on venait de la filtrer au papier.

2° Une eau d'égout laissée au *contact de l'air* devient assez rapidement claire, limpide, inodore.

3° Une eau d'égout placée à *l'abri de l'air* et à la température du laboratoire conserve le même aspect pendant très longtemps, comme si elle avait été additionnée d'un antiseptique.

Ces changements d'aspect physique sur l'apparition desquels agissent les antiseptiques, l'oxygène, la chaleur, résultent en réalité de modifications chimiques. Nous les retrouverons lorsque nous montrerons que l'épuration dite *biologique*, par les *lits de contact*, est toujours incomplète ; et nous essayerons d'établir qu'elles sont dues à des actions microbiennes.

Plus frappantes et plus curieuses encore sont les mutations incessantes que l'analyse chimique décèle. Nulles, si l'eau a été portée seulement cinq minutes à l'ébullition, ou si elle a été additionnée d'un antiseptique, elles varient avec la température, la lumière, l'aération.

Les substances les moins résistantes aux influences microbiennes sont incontestablement les premiers termes d'oxydation de l'azote : l'azote nitreux ou mieux les nitrites. On les voit apparaître brusquement, quelquefois d'un jour à l'autre, en abondance. Mais de même que leur apparition fut rapide, leur disparition, leur transformation soit en azote gazeux, soit en composés plus complètement oxydés, en ni-

trates est également subite, se produisant d'un jour à l'autre.

Les composés ammoniacaux sont, eux aussi, très facilement et très rapidement modifiés. Une eau qui, le 3 septembre 1903, contenait 3 milligrammes d'ammoniaque ne réagissait plus deux jours plus tard au réactif de Nessler, dont la sensibilité permet d'en trouver facilement la présence de quelques dixièmes de milligrammes dans un litre d'eau.

Pour l'eau d'égout, on constate en général, le jour même ou le lendemain de la mise en flacon, une légère augmentation de l'ammoniaque saline ; mais la destruction l'emporte bientôt sur la formation ; et après trois mois, quelque fois moins, de séjour à l'étuve à 30° *au contact de l'air*, ce corps a totalement disparu.

Les matières organiques résistent davantage aux agents microbiens. Une eau qui contenait 35 milligrammes de matières organiques en renfermait 4 milligrammes, trois ans plus tard, après être restée exposée au contact de l'air, à la lumière diffuse du laboratoire.

L'acide nitrique ou mieux les nitrates évoluent un peu comme le faisaient les nitrites, mais avec une beaucoup plus grande lenteur. Leur apparition nous paraît encore très mystérieuse, et leur formation différente de ce qu'on la croit généralement. Nous pouvons dire seulement aujourd'hui qu'une

eau, qui hier ne contenait pas trace de ces composés, comme c'est le cas pour l'eau d'égout, peut arriver à en contenir jusqu'à 37 milligrammes par litre, après un séjour de huit mois en vase ouvert, à la température du laboratoire.

En revanche, mais cette décomposition est beaucoup plus rare, on voit quelquefois la teneur en nitrates diminuer de façon très sensible, sans qu'on ait vu augmenter pour cela la teneur en nitrites ; il y a eu alors décomposition des nitrates en azote gazeux. Il arrive aussi qu'on assiste à la réduction des nitrates qui se transforment en nitrites.

Le tableau et les graphiques suivants montrent les progrès de cette autopurification.

ACTION DES MICROBES SUR LES EAUX

Disparition spontanée de l'ammoniaque. — Eau exposée à l'air à la température du laboratoire.

Le 17 août 1903.....	12
20 — —	10
23 — —	8
26 — —	5
28 — —	4
30 — —	4
1 ^{er} sept. —	3,5
3 — —	3
5 — —	0

Résultats en milligrammes par litre.

Fig. 2. — Action des microbes sur les eaux.
Disparition de l'ammoniaque en présence de l'air.

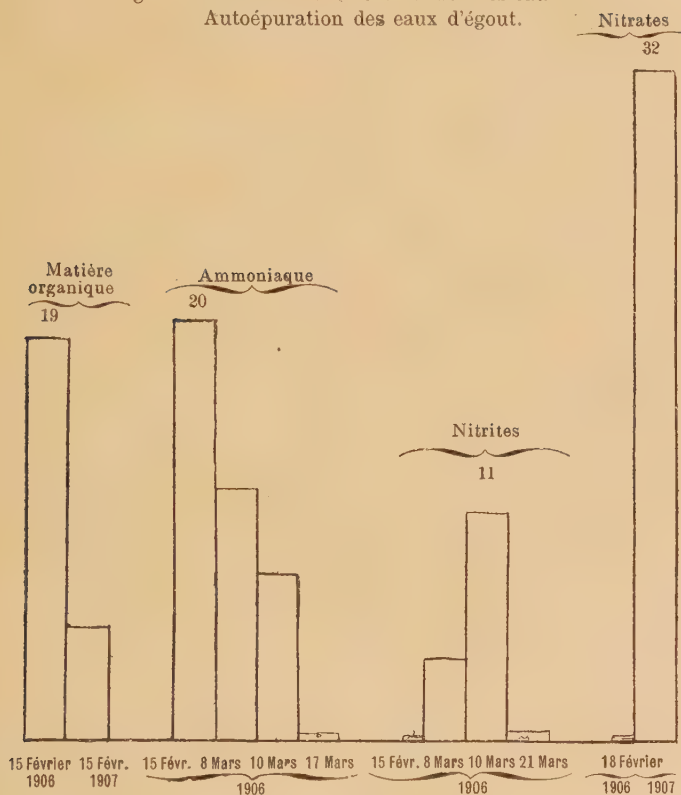


ACTION DES MICROBES SUR LES EAUX

Autoépuration des eaux d'égout.

	Matières organiques.	Ammo- niaque.	Nitrites.	Nitrates
15 février 1906...	19	20	0	0
8 mars 1906....	»	12	4	»
10 mars 1906....	»	8	6	»
17 mars 1906....	»	0,2	11	»
21 mars 1906....	»	0	traces	»
15 février 1907...	5,5	0	0	32
Résultats en milligrammes par litre.				
Eau exposée à la température de 30°.				

Fig. 3. — Action des microbes sur les eaux.
Autoépuration des eaux d'égout.



L'épuration spontanée ne se réalisera pas aussi complète si, au lieu de filtrer l'eau d'égout sur papier nous l'introduisons dans nos flacons, telle que la vomit le collecteur, c'est-à-dire avec toutes les matières qu'elle tient en suspension.

Nous constaterons d'abord les changements physiques que nous venons d'indiquer, sédimentation, clarification, puis autopurification de l'eau surnageant le dépôt. Si, après l'avoir laissée au repos en flacon débouché à l'étuve à 30° pendant toute une année, nous y dosons la matière organique, nous trouvons que sa teneur varie de 8 à 6 milligrammes, mais que l'ammoniaque a totalement disparu. Si nous agitons notre flacon et que nous dosions de nouveau la matière organique, sans prendre la précaution de la filtrer sur papier, si nous faisons agir le permanganate à la fois sur l'eau et sur le dépôt, nous constatons que l'oxydabilité est restée très élevée, pouvant avec l'eau d'égout de Paris atteindre encore 37 milligrammes. Si nous analysons ce dépôt nous voyons que, desséché à 180°, il contient 69 p. 100 de son poids de matières organiques. Nous trouverons l'explication de cette *non putréfaction*, si nous faisons l'analyse bactériologique de cette eau. Nous verrons qu'elle ne contient plus qu'un nombre très minime de bactéries. Celles-ci, affaiblies par l'âge et l'inanition, plus ou moins intoxiquées par les toxines des autres microbes que l'eau contenait avec elles et qui ont succombé déjà, n'ont plus la vigueur suffisante pour produire une désintégration plus complète. Est-ce à dire que ces boues sont imputrescibles? Assurément non, et il n'est pas douteux que, si on les expose à l'activité

d'espèces nouvelles, ces substances finiront comme toute matière organique par être totalement décomposées.

Nous voyons dans le tableau suivant les modifications considérables que peut subir avec l'âge la flore microbienne d'une eau ; et la pauvreté en germes microbiens du dépôt qui s'était formé au fond du flacon par sédimentation.

PURIFICATION SPONTANÉE DES EAUX D'ÉGOUT

		Germes aërobies par cent. cube	Moisis- sures
Eau d'égout brute (non filtrée au papier)..	15 février 1906...	15.000.000	400.000
La même eau, après séjour d'une année en flacon ouvert à l'étuve à 30°.....	15 février 1907...	1.240 non li- quéfiant... 310 liquéf...	160
La même eau, après agitation vigoureu- se du flacon.....	15 février 1907...	1.300 512 liquéf...	240

Les exemples que nous venons de citer de transformations très rapides des ammoniacques, établissent que les influences microbiennes n'interviennent pas seulement dans les eaux d'égout. Tous les chimistes qui s'occupent d'analyses d'eaux ont eu à

examiner des eaux potables ou que l'on pouvait croire potables, et qui contenaient 2, 3, 4 milligrammes et plus d'azote ammoniacal. Auquel n'est-il pas arrivé, pour une raison ou pour une autre, d'abandonner de semblables échantillons, deux, trois, quatre, cinq jours et plus, dans son laboratoire sans y toucher, sans en faire *immédiatement* l'analyse? Cette façon d'agir n'est point une exception; elle est plutôt la règle, car il est admis que la composition chimique d'une eau est d'une fixité absolue. Nous avons montré qu'il n'en est rien, et on voit combien cette erreur peut être dangereuse, car la présence dans une eau de traces d'ammoniaque ou de nitrites indique de façon certaine une souillure organique, et par suite une eau mauvaise. Leur existence étant très fugace, leur présence peut donc échapper aux investigations du chimiste, exposé à déclarer potable une eau qu'un examen plus hâtif lui ferait déclarer impropre à la consommation. Cette croyance à la stabilité absolue de la composition de l'eau nous explique aussi comment il peut arriver, comment il doit arriver fatalement, que deux chimistes, également consciencieux et habiles, arrivent à des conclusions opposées après avoir analysé la même eau.

La règle adoptée par les bactériologues, que l'analyse bactériologique d'une eau doit être faite aussi rapidement que possible après le prélèvement, pour

éviter les erreurs dues à la multiplication très rapide des bactéries, doit donc être également appliquée, pour la même raison, à l'analyse chimique.

Les chimistes anglais savaient bien que cette stabilité de la composition chimique d'une eau n'est pas absolue ; et Scudder, après Dupré, a proposé un procédé de dosage du pouvoir putrescible d'une eau basé sur ces modifications ; c'est la méthode de l'**incubator test**.

D'après cette méthode, on dose d'abord la matière organique par le permanganate, puis on remplit avec la même eau un flacon que l'on bouche et que l'on porte à l'étuve à 20°. Au bout de *sept* jours on fait un nouveau dosage. S'il y a augmentation de l'oxydabilité c'est que l'eau était putrescible. Si elle a diminué, l'eau est imputrescible. Comme nous venons de le montrer, la matière organique dissoute d'une eau d'égout devient chaque jour de plus en plus faible, et si le séjour à l'étuve est assez prolongé on trouvera *toujours* par l'**incubator test** une diminution de l'oxydabilité. Mais il n'y a pas qu'une question de *temps* : la rapidité de cette transformation est aussi fonction du *nombre* des bactéries et de leurs *espèces* que nous ignorons totalement. Et c'est ce qui explique les résultats déconcertants auxquels on arrive avec cette méthode de l'**incubator test**. On peut conclure, en effet, que l'eau sortant d'une *fosse septique* est une eau

imputrescible, car l'oxydabilité, après le séjour d'une semaine à l'étuve à 30°, en est tantôt augmentée tantôt diminuée.

Mais il y a plus. Nous avons vu qu'il pouvait y avoir spontanément formation, soit d'hydrogène sulfuré, soit de nitrites dans une eau plus ou moins complètement épurée. Or, ces deux corps vont se comporter de la même façon à l'égard du permanganate de potasse, le réactif dont on se sert pour doser l'oxydabilité. L'un d'eux, cependant, l'hydrogène sulfuré, est considéré comme le résultat d'un processus de *putréfaction*; l'autre, les nitrites, comme le résultat d'un processus d'*épuration*. La méthode de l'**incubator test** va donc nous obliger à interpréter dans le même sens ces deux actions microbiennes diamétralement opposées.

Ce n'est pas tout. Toutes ces modifications microbiennes étant d'origine vitale, la présence dans une eau d'un composé chimique agissant comme antiseptique va les empêcher de se produire; et l'oxydabilité de l'eau la plus souillée ne sera nullement modifiée pendant la durée de l'incubation. On peut donc être amené, comme l'ont fait des chimistes très avertis, à déclarer qu'une eau, après traitement à l'acide sulfurique et au sulfate ferrique est imputrescible, quoique ces mêmes chimistes aient trouvé dans cette eau 18 milligrammes de matière organique et 15 milligrammes d'ammoniaque, ce qui est

fréquemment la teneur en matières putrescibles de l'eau d'égout des collecteurs parisiens.

Pour toutes ces raisons, il ne nous semble pas qu'on puisse attacher une grande importance aux résultats fournis par le procédé anglais de l'**incubator test** et nous ne l'avons jamais employé.

Est-ce à dire que l'**indice de putrescibilité** qu'il indique ne doit jamais être recherché? Assurément non, et il semble bien que ce soit ainsi qu'on puisse amorcer l'étude des actions microbiennes sur les eaux, actions qui nous sont à peu près inconnues malgré l'importance qu'elles présentent.

L'ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT.

Coefficient de contamination. — Autopurification des fleuves. — Les procédés chimiques. — Epuration sur sol nu. — Epuration sur sol cultivé. — Epannage.

Il semble que les hygiénistes qui étudient l'épuration des eaux d'égout aient aujourd'hui une tendance très marquée à se préoccuper plutôt d'épurer un grand volume d'eau que de la bien épurer, à sacrifier la qualité à la quantité. C'est ainsi que M. le professeur Buisine, résumant ses très intéressantes recherches sur l'épuration des eaux d'égout de Lille, par le sulfate ferrique, disait : « Les matières organiques solubles sont enlevées dans la proportion de cinquante pour cent au moins, et ce sont surtout les matières azotées, c'est-à-dire les plus facilement putrescibles qui sont éliminées. L'azote du résidu sec diminue dans une forte proportion, des deux tiers environ. L'ammoniaque elle-même diminue un peu. Et M. Buisine concluait : *l'épuration est donc aussi complète qu'on peut le désirer.* »

L'épuration dont se déclarait satisfait le Directeur de l'Institut de Chimie de Lille donnait une eau qui contenait *18 mgr. 7 de matière organique et 15 milligrammes d'ammoniaque*. L'eau d'égout est quelquefois moins souillée dans le collecteur de Clichy.

Sans prétendre qu'il doit en être de l'épuration comme de la stérilisation, qu'elle doit être absolue ou ne pas être, on ne saurait partager cet optimisme par trop exagéré. Et, il est fort regrettable que tous les hygiénistes ne soient pas unanimes à reconnaître qu'une eau usée ne doit être rejetée dans une rivière normale, que si sa composition chimique et sa teneur en germes microbiens sont très voisines de celles de cette rivière.

On entend tous les jours des ingénieurs sanitaires parler, pour vanter l'excellence de tel procédé, de tel appareil, d'épuration de 80, de 90, de 99 p. 100, et on se laisse prendre inconsciemment à la magie de ces chiffres. En réalité ce pourcentage ne signifie pas grand'chose ; il ne peut pas avoir une bien grande valeur, car une eau épurée à 99 p. 100 peut être beaucoup plus polluée, beaucoup plus dangereuse qu'une autre épurée seulement à 50 p. 100.

Il serait incontestablement préférable d'adopter un *coefficient de contamination*, qui indiquerait le degré réel de pollution de l'eau épurée et permettrait de juger si elle peut être rejetée sans danger à la

rivière. Le dosage de la matière organique et celui des ammoniacques étant nécessaires mais suffisants pour nous laisser apprécier la valeur d'une eau, nous pensons qu'on pourrait adopter comme *coefficient de contamination* le rapport entre la somme de la matière organique et des ammoniacques de l'eau épurée, et la somme de la matière organique et des ammoniacques de la rivière dans laquelle on veut la rejeter; et on sait que l'ammoniaque n'existe pas, ou seulement à l'état de traces dans l'eau de rivière normale. Lorsque l'épuration serait réalisée, lorsque ces deux eaux auraient une composition identique, notre rapport serait égal à l'unité. Il ne tient pas compte des germes microbiens, mais on peut admettre qu'en général, pour les eaux d'égout épurées du moins, la suppression des bactéries se poursuit parallèlement à l'épuration chimique. Avec l'eau épurée de Lille, par le sulfate ferrique, ce rapport serait, si on devait la déverser dans *une rivière normale*, non souillée déjà par des villes situées en amont, c'est-à-dire ne contenant que des traces d'ammoniaque et 2 milligrammes de matière organique :

$$\frac{\text{matière organique : } 18,7 + \text{ammoniaque : } 15}{\text{matière organique : } 2 + \text{ammoniaque : traces}} = 16,8$$

Pour l'eau d'égout épurée à Gennevilliers, notre rapport devient inférieur à l'unité

$$\frac{\text{matière organique : 1} + \text{ammoniaque : 0}}{\text{matière organique : 2} + \text{ammoniaque : traces}} = 0,5$$

Il indique qu'il y a *hyperépuration*, que l'eau du fleuve est moins pure que l'eau épurée ; et c'est ce qui arrive : l'eau de la Seine au barrage de Suresnes possédant en moyenne 2 milligrammes de matière organique.

Il n'en était pas ainsi avant l'organisation actuelle des champs d'épandage. Belgrand s'était efforcé d'éviter la contamination de la Seine dans sa traversée de Paris ; et nous avons vu comment, grâce à lui et à ses successeurs, ce résultat avait été obtenu. En face d'Asnières, les collecteurs débouchaient directement sur la rive droite de la Seine. Paris épurait ses eaux sales en les rejetant directement au fleuve comme le font malheureusement la plupart de nos villes. L'excuse mise en avant est ce qu'on appelle l'**autopurification des fleuves**.

Sous l'action de l'oxygène dissous dans l'eau, sous l'action de la lumière et de processus biologiques multiples et mystérieux, un fleuve, une rivière, pollués en un point, auraient, après un certain parcours, retrouvé toute leur pureté. C'est ainsi que la Seine, souillée en face d'Asnières, redevenait propre à Mantes ; c'est ainsi que l'Isar, ayant reçu à Munich

les égouts de cette ville, ne s'en ressentirait plus à Freising à 33 kilomètres en aval. Et on a dit : que si une ville n'avait pas le droit de mésuser de son fleuve, elle avait le droit d'en user.

La vérité est que cette **autopurification** est plus apparente que réelle et qu'elle se produit très irrégulièrement : d'après Heider, le Danube, malgré son débit considérable, est encore très pollué à 40 kilomètres de Vienne, dont il a reçu les eaux d'égout.

Sans doute (quoiqu'il soit très difficile de faire un prélèvement moyen, car la composition n'est pas la même sur les deux rives, ni au milieu, ni à diverses profondeurs du fleuve), il faut bien admettre que la Seine avait retrouvé à Mantes sa pureté primitive. Mais, on a toujours négligé de parler de ces boues formées en grande partie de matières putrescibles, qui se déposaient dans le fleuve et dont il fallut, en 1889, enlever à la drague plus de 125.000 mètres cubes afin d'éviter l'obstruction du lit de la Seine. Ces boues n'étaient point épurées. Comme celles de nos *flacons*, elles se décomposaient avec une extrême lenteur ; mais elles n'en étaient pas moins putrescibles, car chaque jour leur apportait de nouveaux germes de fermentation dont l'activité, endormie pendant l'hiver, se réveillait avec les chaleurs de l'été et donnait à la Seine cet aspect hideux que si-

gnalait M. Bourneville à la Chambre des députés dans la séance du 25 juillet 1885.

« La Seine, disait le député de Paris, est sur la rive droite un véritable égout à ciel ouvert. Les eaux sont troubles, colorées et recouvertes d'écumes d'aspect graisseux ; l'oxygène disparaît, presque complètement absorbé par la matière organique en pleine décomposition. Une fermentation presque continuelle pendant l'été, fait bouillonner les eaux du fleuve, ramène les immondices du fond vers la surface et dégage du gaz des marais souvent sous la forme de bulles énormes atteignant parfois un mètre de diamètre. La rive est enduite d'un dépôt noirâtre ; les masses solides de sables et autres corps pesants forment aux embouchures des collecteurs des bancs énormes de vase noire et infecte, dont l'épaisseur varie entre 0 m. 65 et 3 mètres, qui s'étendent depuis les collecteurs jusqu'à Marly. »

A Saint-Denis, l'infection augmentait encore par l'apport des eaux industrielles et des eaux vannes de Bondy que débitait le collecteur départemental ; le fleuve se tapissait davantage encore de vase noirâtre, la vie animale se retirait de ses eaux.

L'ingénieur Foulard, inspecteur de la navigation, avait dû inviter par circulaire télégraphique les maires de Rueil, Argenteuil, Chatou, Bougival, à faire procéder au plutôt à l'enfouissement des poissons morts, dont la Seine était couverte, et dont

plusieurs tombereaux furent remplis à Asnières et à Argenteuil.

Malgré le principe de l'autopurification, Paris devait donc renoncer à trouver dans le fleuve un champ d'épuration.

La mer eut été un réservoir bien commode, et dont se servent toutes les villes maritimes, soit que leurs égouts se déversent directement dans le port en un point quelconque, soit qu'à l'exemple de Marseille, de Naples, de Boston, on ait choisi un point de déversement, tel que les matières ne restent pas sédimentées dans une anse, et que ni la marée, ni les courants ne puissent les ramener à la côte. On avait pensé, pour Paris, à procéder de même, mais on craignit de voir se former au débouché des collecteurs un cône de déjections dont les vents ou les courants auraient entraîné les débris sur les plages.

Les frais de construction de cet émissaire gigantesque, qui se serait développé de Paris à la mer ; les odeurs épouvantables dégagées par l'eau, qu'un aussi long voyage aurait amenée à un état très avancé de putréfaction, accentuaient encore les difficultés de l'entreprise contre laquelle protestaient avec la plus grande énergie les municipalités du Havre, de Dieppe, du Tréport.

Il ne pouvait être question encore moins d'employer les **procédés physiques**, tels que sté-

rilisation par la chaleur, ou par l'électricité essayés dans plusieurs localités, au Havre, à Brest, à Nice et ailleurs.

Les méthodes chimiques avaient un caractère plus pratique, et les inventeurs ont été nombreux dans tous les pays, qui prétendaient produire une épuration satisfaisante par l'emploi de composés chimiques. En Angleterre seulement, de 1856 à 1876, quatre cent vingt et un brevets de ce genre ont été pris. On sait qu'un certain nombre de substances chimiques ont la propriété de détruire la matière organique végétale ou animale : les acides, les alcalis, les corps oxydants ; et c'est de la sorte que nous attaquons, dans les laboratoires, les corps organiques pour les analyser. Pour arriver à une destruction complète, nous devons faire agir, pendant très longtemps, ces divers réactifs très énergiques, à une température élevée. C'est dire que pour épurer totalement une eau usée, les divers procédés chimiques sont à peu près inapplicables.

Les inconvénients sont de toute nature. Comme nous l'avons montré, rien n'est plus variable que la composition de l'eau d'égout ; par suite il serait indispensable de faire varier la quantité du réactif épurateur à chaque instant.

Si on en met une quantité insuffisante, on n'aura pas une épuration convenable ; si on en met une dose

trop forte, l'épuration pourra être complète, mais l'eau sera souillée par cet excès de réactif épurateur, souillure qui souvent serait pire que celle qu'elle aurait voulu supprimer. Pour juger seulement de l'action de ces réactifs employés en excès, sur l'organisme des poissons, il suffit de lire les conclusions du professeur Bouchardat, à la Commission de l'assainissement de Paris en 1884 : « Les poissons meurent au bout de trois quarts d'heure dans des eaux contenant 0,0005 d'acide chlorhydrique ; au bout de six à huit heures dans les eaux contenant 0,0002 d'acide. Et, tout le monde sait que les poissons sont tués par une eau contenant de la chaux, du chlore, des hypochlorites.

La destruction totale de la matière organique, par trop difficile à réaliser, n'est pas d'ailleurs le but généralement visé.

On demande moins aux méthodes chimiques. La plupart des réactifs n'agissent guère qu'en provoquant une action physique, ils produisent une sorte de collage qui amène la sédimentation des matières solides et l'agglutination des bactéries. On obtient de la sorte une eau plus ou moins clarifiée dont les matières organiques insolubles ont à peu près disparu, mais dont les matières putrescibles dissoutes restent en majeure partie en dissolution. L'eau aura été clarifiée, elle n'en sera pas moins restée de l'eau d'égout.

Nous avons eu l'occasion d'analyser, dans le mois de Janvier 1901, de l'eau d'égout du collecteur de Clichy, épurée par une solution acide de sulfate ferrique. Elle contenait encore 25 milligrammes de matières organiques et 21 milligrammes d'ammoniaques. Elle était claire, mais présentait une teinte jaunâtre, cependant elle était complètement désodorisée. Son *coefficient de contamination* très élevé était de $\frac{25 + 21}{2} = 23$.

Cet avantage, très réel d'ailleurs, d'une clarification ne supprimerait point la formation des boues; et l'utilisation agricole, qui serait la solution la plus heureuse de leur exploitation, resterait toujours une grosse difficulté. A Leipzig, où l'épuration des eaux usées s'effectue à l'aide de composés ferrugineux, les boues formées arrivent d'après M. Imbeaux à faire une montagne! Que serait-ce pour Paris.

Les sels de manganèse, de fer, les hypochlorites peuvent servir à cette pseudo-épuration; mais ce sont les sels de chaux et d'alumine qui semblent donner les meilleurs résultats. Pendant une période de quatre ans, de 1867 à 1871, de longs essais furent effectués à Clichy et à Gennevilliers à l'aide du sulfate d'alumine. Près de 700.000 mètres cubes avaient été ainsi traités; mais l'eau n'était jamais épurée; elle était simplement clarifiée. L'épuration à la chaux,

tentée en 1867, et en 1872, n'avait guère mieux réussi : « Les essais nombreux faits à Clichy, disait M. Lechatelier, ingénieur en chef des mines, ne nous ont donné que des résultats imparfaits et peu pratiques. »

Enfin un nouvel obstacle à l'adoption de ce système est l'achat des réactifs. La simple clarification par le sulfate d'alumine coûtait, en réactifs seuls, un centime par mètre cube, ce qui donnerait pour l'épuration de 700.000 mètres cubes d'eaux usées la somme de 2.500.000 francs. L'échec des procédés chimiques était donc assuré au point de vue économique comme au point de vue sanitaire.

Cependant, l'empoisonnement de la Seine ne pouvait continuer et les expériences entreprises par les ingénieurs de la ville avec le concours de Schlösing et Marié Davy, ayant montré le parti qu'on pouvait tirer du pouvoir épurateur du sol, le Parlement vota, le 10 juillet 1894, la loi qui oblige la ville de Paris à épurer ses eaux d'égout, par épandage sur sol naturel avec utilisation agricole.

L'épuration sur sol naturel peut être réalisée de deux façons différentes, suivant qu'on veut épurer, et utiliser en même temps, les principes fertilisants contenus dans l'eau d'égout ; ou que, on se propose uniquement l'épuration de l'eau d'égout, c'est-à-dire la minéralisation des sub-

stances organiques et la suppression aussi complète que possible des bactéries.

Les recherches que nous avons faites au *Jardin modèle* de la Ville de Paris, à Asnières, montrent que la quantité d'eau épurée par un sol suffisamment perméable peut être considérable. Du 22 mai 1901 au 12 février 1902, nous avons recherché qu'elle était la dose maxima d'eau d'égout qui pouvait être épurée sur le sol sablonneux de Gennevilliers, ne portant aucune culture. L'eau était distribuée dans des bassins de 10 mètres de long, de 5 mètres de large et profonds de 2 m. 50, remplis avec la terre du jardin à laquelle on avait fait produire plusieurs espèces de récoltes pendant au moins une dizaine d'années consécutives. La surface des bassins était divisée en billons et en larges raies dans lesquelles on distribuait l'eau à épurer. Le remplissage était fait en une seule fois, et durait en moyenne vingt minutes. Le cube d'eau épurée chaque jour, du 21 mai 1901 au 12 février 1902 était en moyenne de 100 litres par mètre carré. La durée de l'épuration était extrêmement rapide : elle variait de quatre à huit heures pendant les premières semaines. Le fond des raies s'étant colmaté assez rapidement, la pénétration devenait peu à peu beaucoup plus lente ; et on devait suspendre les irrigations pendant un ou deux jours pour remanier le sol à l'aide d'une bêche. Si on ne prenait pas cette précaution, la surface du

sol finissait par être entièrement submergée, et l'infiltration de l'eau se produisait avec la plus extrême difficulté. L'eau, à la sortie des drains disposés au fond du bassin, était toujours absolument claire, limpide, inodore. Lorsqu'il n'y avait pas de colmatage, c'est-à-dire lorsque l'air pouvait pénétrer dans l'intervalle des particules de terre, en quantité suffisante, on obtenait une épuration qui, sans être totale, pourrait peut-être passer pour suffisante.

Avec le colmatage, l'épuration devenait défectueuse : l'ammoniaque apparaissait, les nitrates diminuaient, la matière organique augmentait. Le tableau suivant montre les modifications apportées par l'encrassement des couches superficielles du sol :

ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT DE PARIS SUR SOL NU
A LA DOSE DE 400.000 MÈTRES CUBES
PAR HECTARE-AN

	Matière organique.	Ammoniaque.	Nitrates.
21 mai 1901...	4,3	traces	16,6
14 juin.....	3,7	0	18
1 ^{er} août.....	3,6	0	33
20 septembre..	3,6	0,2	48
5 novembre..	2,9	traces	45
12 novembre..	5	3,5	25
15 novembre..	4,3	2,3	12
22 novembre..	6	5,5	13
28 novembre..	7,5	3,3	14

Le coefficient de contamination variait donc de

$\frac{2,9}{2}$ à $\frac{6 + 5,5}{2}$, c'est-à-dire de 1,45 à 5,7.

L'épuration d'une quantité considérable d'eau sur sol naturel convenablement drainé, suffisamment poreux et aéré, peut donc être obtenue sur sol nu, ne portant aucune culture. Mais cette épuration, qui n'est, d'ailleurs, jamais totale à la dose élevée de un hectolitre par mètre carré, cesse de se produire, dès que le dépôt des boues qui se forme dans les raies empêche la circulation de l'air dans l'intérieur du sol.

L'épuration sur sol naturel, avec utilisation agricole, en supprimant ce qu'avait d'inélégant l'épuration sur sol nu, sauvegardait en outre les droits de l'agriculture.

Nous avons montré l'inégalité que présentait la composition de l'eau d'égout aux diverses heures de la journée et par conséquent, combien devaient être théoriques les chiffres sur lesquels on voudrait tabler pour juger de la valeur de ces eaux au point de vue de l'engrais. On a pu cependant calculer ce qu'elles représentaient en substances fertilisantes. D'après les analyses de Wolf et Lehmann, la totalité des matières émises par les 2.700.000 habitants de Paris serait de 1.016.325 tonnes renfermant 9.445 tonnes d'azote et

4.624 tonnes de phosphates. En calculant l'azote à deux francs le kilogramme et l'acide phosphorique à un franc (en admettant que les phosphates renferment la moitié de leur poids en acide phosphorique) on trouve pour la valeur de l'azote : 18.000.000 de francs, et pour les phosphates : 2.000.000 ; soit un total de 20.000.000 de francs dont une partie fait la fortune des cultivateurs de Gennevilliers, d'Achères, de Triel, de Méry-Pierrelaye.

M. Duclaux faisait une évaluation différente : « Les déjections de vingt personnes peuvent, disait-il, suffire pour entretenir en bon état de culture un hectare de terrain. Vingt personnes pourraient donc vivre sur un hectare de terre sans rien emprunter à l'extérieur pour leur nourriture par une rotation continue de la matière, par une symbiose entre eux et les microbes du sol. »

L'emploi agricole du fumier humain doit être aussi ancien que celui du fumier de ferme.

La Chine est le pays où on l'utilise de la façon la plus complète. Les cultivateurs vont le chercher dans les villes, et le délayent encore frais dans de l'eau qu'ils versent au pied des plantes.

« Les Chinois, dit Deherain, ont su maintenir, par l'emploi des déjections humaines, leur population tellement nombreuse qu'elle est animée d'un mouvement d'expansion continu. On est frappé de voir que

cette population vit sur un sol qui ne reçoit aucune matière fertilisante »

En attribuant à l'emploi des matières fécales la vitalité de la Chine, M. Deherain parlait en agronome plutôt qu'en hygiéniste.

En Espagne, Valence irrigue sa Huerta, dont la fertilité est proverbiale, avec les eaux du Rio-Rusafa, qui n'est à proprement parler que son grand égout collecteur ; et *Barral* assure avoir vu une luzerne ayant fourni 22 coupes en une année, grâce à l'emploi de ces eaux.

En Italie, depuis plusieurs siècles les Marcites de Milan sont irriguées à l'aide des eaux de la Vettabia, qui a reçu les égouts de la cité.

En Angleterre, l'application des eaux d'égout commença à Edimbourg. Les eaux d'égout de cette ville étaient déversées sur le rivage de la mer. Les cultivateurs les détournèrent sur les prairies voisines, dont la végétation devint si luxuriante qu'elle déborda jusqu'au milieu des galets de la plage. L'exemple d'Edimbourg fut suivi par un grand nombre de villes anglaises qui utilisent ainsi leurs eaux usées dans des « sewage farms » toutes voisines des habitations.

En Allemagne, Berlin, Breslau, Francfort, Dantzig, font aussi de l'épuration par le sol, avec utilisation agricole.

En Belgique, la ville de Louvain a fait construire

des bateaux couverts, qui circulent sur les canaux et vont chercher les matières de vidanges dans des villes même assez éloignées. On les réunit dans des citernes et on les vend ensuite aux agriculteurs. Anvers retire ainsi de la vente de ses vidanges un bénéfice annuel supérieur à cent mille francs.

En France, dans le Nord, on utilise depuis des siècles l'engrais flamand. « Dans tous les domaines un peu étendus, d'après Deherain, il existe des citernes de 300 à 400 hectolitres, où les déjections amenées de la ville sont conservées pendant un certain temps. On étend la masse d'eau, et on la conduit dans les champs, dans des tonneaux qui sont vidés peu à peu dans un baquet placé sur un des coins du champ qu'il faut fumer. L'engrais est alors lancé tout autour du baquet à l'aide d'écopes munies de longs manches. On transporte ensuite le baquet sur un autre point et l'on recommence la même opération. »

En Provence, on procède de façon plus répugnante encore : « Quand on parcourt la ville d'Aix, disait M. Deherain, on voit, à la devanture de chaque maison, une petite porte fermant une loge, dans laquelle se trouve un tonneau destiné à recevoir les déjections des habitants. Ces tonneaux sont changés de temps en temps, et le contenu utilisé dans les campagnes avoisinantes. Le mode de transport, dans ce pays de jardinage, est des plus simples, et pour peu qu'on

fasse quelques promenades sur les routes poudreuses de la Provence, on rencontre un paysan, monté sur un cheval ou un mulet, et portant, de chaque côté de sa selle, un petit tonneau renfermant l'engrais. Celui-ci est déposé dans les champs, dans des tonneaux enfoncés en terre, et utilisé au moment convenable. »

C'est aussi avec les déjections des dépotoirs, que les maraîchers des environs de Paris fumaient autrefois leurs jardins ; et celles qui n'étaient par rejetées en Seine étaient transformées en poudrette ou en sulfate d'ammoniaque.

Dans presque toutes nos villes, on utilise de même les déjections des habitants ; mais leur emploi est toujours subordonné aux besoins de l'agriculture, et lorsque les prairies ou les champs n'ont pas besoin de ces eaux, on les évacue à la rivière. Que, pendant l'été, alors que les eaux sont basses, survienne un orage qui va fournir un cube d'eau assez important, toutes ces immondices seront entraînées et transportées bien-au delà du point où, théoriquement, par l'autopurification, la contamination ne devrait plus être à redouter.

Quant à l'eau de la nappe souterraine, il est bien certain que l'habitude de distribuer des excréments humains à la surface du sol, comme on le fait en Provence, dans le Nord, dans les environs de Tours, l'expose tous les jours aux pires souillures.

Le danger est plus grand encore, lorsque cet engrais est distribué sans mesure, sans méthode, dans les jardins. Nous avons eu l'occasion de voir les maraîchers d'une petite localité de 4.000 âmes de la région des Cévennes, arroser leur jardin : le soir, au coucher du soleil, ils vont puiser dans un bassin, où débouchent les égouts de la ville, le précieux liquide, et, à l'aide d'arrosoirs, ils le distribuent aussi copieusement que possible sur les salades, les radis, les fraises, les artichauts, les tomates, qu'ils cueillent le lendemain matin de très bonne heure, pour aller les porter au marché. L'action de la lumière, celle du soleil, les alternatives de dessiccation et d'humidité, qui auraient peut-être pu tuer les microbes pathogènes, ainsi largement semés sur ces légumes, ou du moins affaiblir leur vitalité, n'ont pas le temps de s'exercer, et la fièvre typhoïde règne à l'état endémique dans cette malheureuse petite ville.

Réalisée de la sorte, l'utilisation des eaux usées peut donner d'abondantes récoltes de foin, de luzerne, de légumes ; au point de vue sanitaire, elle constitue un péril contre lequel il est indispensable qu'une loi intervienne.

En France, deux villes seulement, Reims et Paris, pratiquent de façon rationnelle, méthodique, en se conformant aux règles de l'hygiène, l'épuration avec utilisation agricole. Ici, le but cherché n'est pas de

faire de l'agriculture ; on veut surtout, et uniquement, faire de l'épuration, en utilisant dans la mesure où cela ne nuit pas à la qualité de l'eau épurée, les substances fertilisantes de l'eau d'égout. L'épuration reste l'objectif visé, le but à atteindre ; on fait de l'hygiène et non des affaires.

Cette épuration consiste d'une part, dans la fixation par le sol des matières organiques de l'eau d'égout, et dans leur minéralisation ultérieure ; d'autre part, dans la fixation par le sol, des légions innombrables de bactéries qui peuplaient cette eau.

Ce pouvoir fixateur, absorbant, du sol a été mis en évidence pour la première fois à la fin du XVIII^e siècle, par un apothicaire, Brünner. Il constata que si on faisait passer un liquide putride sur de la terre contenue dans une bouteille, ce liquide se décolorait et se désodorisait. Huxtable, en 1848, filtrant du purin sur de la terre arable placée dans un entonnoir, s'apercevait que le liquide filtré passait presque incolore et dépouillé de toute odeur. Il en concluait que, non seulement la terre enlève au purin sa matière colorante, mais aussi qu'elle se charge de composés ammoniacaux auxquels le purin doit son odeur. A la même époque, Thomson et Way constataient les mêmes faits, et les expliquaient par des actions chimiques. Pour Way, les sels ammoniacaux étaient décomposés : l'ammoniaque se combinait à l'acide carbonique, aux carbonates du sol ; et l'acide du sel

ammoniacal se portait sur la chaux; donnant un nouveau sel que l'on retrouvait dans la dissolution.

Cette disparition de l'ammoniaque n'était point due ainsi que le prouva Brustlein à une combinaison chimique; et ce chimiste montrait que le terreau, les matières ulmiques, le noir animal en grain, lavé à l'acide et calciné; etc..., jouissaient de la même propriété de fixer l'ammoniaque.

Il s'agit en réalité, comme l'a établi depuis Schlœsing, de simples actions de contact. L'ammoniaque n'a pas été transformée ni insolubilisée, car on peut la retirer par lavage. Elle a été fixée sur les particules fines du corps poreux, comme l'est, suivant la comparaison de M. Duclaux, une matière colorante sur un tissu.

L'eau d'égout, distribuée sur le sol, se débarrasse d'abord des matières solides qu'elle tenait en suspension et subit de la sorte une première purification de surface, toute mécanique. Puis, en s'écoulant de plus en plus bas, elle abandonne, toujours mécaniquement, ses germes microbiens. Les corps solides, restés à la surface du sol ou dans les couches superficielles, vont subir des désintégrations dont le résultat sera de les transformer en produits gazeux, qui s'échapperont dans l'atmosphère, et en substances ammoniacales, qui se dissoudront dans l'eau dont elles augmenteront la concentration. Notre eau est à ce moment une solution de substances organiques et

azotées. La formation de cette solution organique, et sa minéralisation, ont été indiquées par M. Duclaux dans le premier volume de son traité de Microbiologie :

« Les substances ternaires qui sont solubles dans l'eau deviennent de suite la proie des microbes ; celles qui sont insolubles se dissolvent peu à peu sous l'influence des diastases diverses, que secrètent les ferments qui s'y implantent. La gazéification complète des matériaux de la cellulose, du sucre, de l'amidon, des acides organiques etc., exige d'ordinaire l'intervention successive de plusieurs espèces microbiennes. Chacune d'elle amène à l'état d'acide carbonique et d'eau, une partie des éléments de sa matière alimentaire, et laisse le reste à un état inattaquable pour elle. Puis, ce résidu est repris par une espèce nouvelle, qui le dégrade encore un peu et ainsi de suite, jusqu'au moment où un dernier microbe vient brûler aux dépens de l'oxygène de l'air, non seulement le dernier résidu des fermentations produites, mais encore en grande partie, les cadavres des êtres qui les ont accomplies. »

Pour les matières azotées, les choses se passent de la même façon.

« Cette matière albuminoïde est très-peu stable au regard de ses ferments, dont la première action est de liquéfier celles qui sont solides, de rendre solubles celles qui sont en simple suspension et de former du tout une masse encore indistincte

qu'aucun caractère chimique bien net ne différencie des matières albuminoïdes : ce sont les peptones ; mais on ne sait quel est le lien qui les rattache à leurs générateurs. C'est au terme peptone que la dégradation commence. Les degrés successifs qu'elle descend, avec les divers microbes, sont peu distincts. La matière albuminoïde devient de plus en plus soluble dans l'alcool, mais, tant qu'elle est amorphe, il est encore impossible de séparer ses éléments constituants. De dégradation en dégradation, on arrive enfin à l'ammoniaque qui va subir l'action des ferments nitrificateurs. »

Comment va se produire l'oxydation des composés ammoniacaux préexistants dans l'eau d'égout, ou formés par décomposition de ses matières albuminoïdes ?

On réalise, dans tous les cours de chimie, une expérience de Kuhlmann, qui montre l'oxydation des substances azotées : si on dirige un courant de gaz amoniac mélangé d'air, sur de la mousse de platine, celle-ci s'oxyde et on constate la formation de produits nitreux. Pendant longtemps on assimila les corps poreux sur lesquels le salpêtre apparaît spontanément, la terre arable, les plâtras, les murs des caves, des étables, à la mousse de platine et l'on supposait que l'ammoniaque provenant de la décomposition des matières azotées se brûlait sous l'influence

des corps poreux, comme elle se brûle dans l'expérience de Kuhlmann.

Plus tard, Boussingault reconnaissait que la terre exerce une action toute spéciale sur la nitrification ; celle-ci y est active, si on y introduit des matières azotées faciles à nitrifier, tandis qu'au contraire, malgré leur porosité, le sable, la craie, n'engendraient pas de nitrates. Mais Boussingault n'envisageait nullement l'hypothèse d'une action vitale, dont Pasteur admettait *a priori* la possibilité.

Ce furent MM. Schlœsing et Müntz qui établirent, en 1877, par les trois faits suivants, que la nitrification se produit sous l'influence d'un ferment figuré :

1° Une terre capable de nitrifier des matières azotées perd cette propriété par un chauffage de 110°

2° Si à cette terre, ainsi stérilisée, on mélange d'autre terre non chauffée, la nitrification reparait ;

3° Si on ajoute à la terre, du chloroforme, qui paralyse les actions microbiennes, la nitrification cesse d'abord ; puis elle reparait, à mesure que se produit l'évaporation du chloroforme.

MM. Schlœsing et Müntz démontraient bien ainsi que la nitrification est un phénomène d'ordre biologique, mais ils ne réussirent pas à isoler les ferment dont ils venaient de démontrer l'existence. Cet honneur revient à Winogradsky, dont les recherches nous apprirent, en 1890, que la nitrification exige l'intervention de deux microorganismes : l'un, le *ni-*

tromonas, qui transforme les ammoniacques en nitrites; l'autre, le *nitrobacter*, oxydant ces nitrites et en faisant des nitrates. Winogradsky, et plus tard Omeliansky, ont bien mis en évidence les deux propriétés caractéristiques de ces microbes nitrifiants : leur soif d'oxygène et l'impossibilité où ils sont de vivre en milieu organique, ou mieux, l'impossibilité où nous sommes de les faire vivre sur nos milieux habituels de culture. Cette nitrification est le dernier terme des transformations de la matière azotée et les phénomènes microbiens finissent avec elles. Les matières organiques, albuminoïdes et cellulosiques, minéralisées, ne peuvent plus fermenter; elles ne sont plus putrescibles. Le carbone, l'oxygène, l'hydrogène, l'azote, auront pris respectivement les états d'acide carbonique, d'eau, de nitrates ou même d'azote gazeux : l'épuration de l'eau qu'elles souillaient est donc réalisée.

En fait la minéralisation n'est jamais poussée aussi loin; et on retrouve des matières organiques dans toutes les eaux, même dans l'eau distillée préparée depuis quelque temps. Dans la pratique, l'épuration sera suffisante, *la contamination ne sera plus à craindre lorsque son coefficient sera très voisin de l'unité.*

Les phases successives par lesquelles passent les matières organiques et azotées des eaux d'égout, pour en arriver au terme des nitrates (c'est-à-dire à un

degré convenable d'épuration), sont exactement celles qui président à la formation des eaux de source. Celles-ci ne sont pas autre chose, en effet, que des eaux de pluie ou de rivière tombées ou distribuées à la surface des champs et des prairies sur lesquels les cultivateurs ont répandu la plus grande quantité de fumier qu'ils ont pu. Mais à cette désintégration des matières organiques que l'eau a dissoutes en la-
vant la surface des champs, s'est ajoutée une nouvelle action qui, elle, est d'ordre physique. Dans son pas-
sage à travers le sol, par suite de phénomènes capil-
laires, les germes microbiens entraînés dans les cou-
ches les plus superficielles sont retenus dans les
couches profondes ; et pour peu que la couche de
terre traversée soit assez épaisse, l'eau deviendra
amicrobienne.

C'est de la même façon que se produit l'épuration
des eaux d'égout sur sol naturel, que l'on fasse ou
non de l'utilisation agricole. Le processus de l'épura-
tion des eaux d'égout sur sol naturel est donc le
suivant : les matières insolubles et les germes micro-
biens sont retenus par le sol (*action physique,*
action mécanique). Les matières solubles ou solubi-
lisées sont minéralisées par de nombreuses espèces
microbiennes dont les mieux connues sont : les mi-
crobes nitrifiants de Schloesing, Müntz, Winogradsky
(*action biologique*).

L'épuration par épandage sur sol naturel est donc une *épuration mécanico-biologique*.

Tout ce mécanisme, qui nous paraît assez clair aujourd'hui, l'était fort peu lorsque les ingénieurs de la Ville de Paris, Millé et Durand-Claye, faisaient leurs premiers essais en 1868 à Clichy. Les premières expériences ne portèrent que sur quelques litres d'eau, exactement 10 litres, qu'on faisait passer journellement sur 1.280 litres de terre de Gennevilliers renfermée dans une cuve en verre, ayant 2 mètres de haut sur 80 centimètres de large. Les résultats montrèrent que l'épuration était totale à la dose de 7 litres 84 par jour et par mètre cube. On étendit alors l'expérience et on distribua, sur un champ d'un hectare et demi, 150 mètres cubes d'eau. Les résultats ayant encore été couronnés de succès, on s'enthardit, et on commença d'appliquer le système actuel d'irrigation sur 6 hectares de la plaine de Gennevilliers.

L'attention publique était déjà attirée sur ces expériences et l'Empereur se rendit lui-même au *Jardin modèle*, pour y visiter les irrigations qui devaient transformer en prairies fertiles le sol, à peu près inculte jusque-là de Gennevilliers. En 1876, elles étaient pratiquées sur près de 300 hectares : les légumes poussaient hatifs et abondants ; les betteraves fourragères donnaient un rendement de 80.000 kilogrammes à l'hectare ; les prairies donnaient cinq coupes

sur un sol maigre, sablonneux, presque improductif jusqu'à ce jour. Mais une opposition assez bruyante s'organisait déjà contre l'épandage. Le maire de Gennevilliers s'opposait à la construction des conduites et il fit même arrêter un jour plusieurs agents des Ponts et Chaussées. De nombreuses enquêtes ayant confirmé l'excellence et l'innocuité absolue du système, les choses s'arrangèrent bientôt.

Cependant, comme il s'était produit un relèvement de la nappe et qu'on avait négligé de drainer le sol, l'épuration se fit mal et de nouvelles plaintes furent dirigées contre le service. Une commission fut alors nommée, pour étudier la question. Ses travaux, publiés sous le titre : « Assainissement de la Seine », font voir que l'étude de l'épuration était presque aussi avancée en 1876 qu'elle l'est aujourd'hui où nous connaissons la méthode dite « *biologique* ».

Elle constatait que l'épuration par *le sol* ne s'établissait pas dès le premier jour de l'irrigation, car les germes des organismes nitrifiants dont M. Schlœsing, un des membres de la commission, venait de montrer l'existence, « *ne se trouvant pas dans le milieu, doivent y être apportés et s'y développer en quantité suffisante* : « *Ce n'est d'ordinaire, disait le rapport, qu'après quelques semaines que l'épuration se produit.* »

On avait jusque-là pensé que la végétation était indispensable à une bonne épuration et on recher-

chait quels étaient les végétaux qui pouvaient évaporer la plus grande quantité d'eau. La commission montra que, sur un sol nu, sans végétation, la purification de l'eau d'égout pouvait se faire convenablement. Les recherches faites, il y a cinq ans, au *Jardin modèle*, et que nous venons d'exposer très sommairement, ont bien prouvé qu'à des doses assez fortes le *coefficient de contamination* restait peu élevé, si une oxydation convenable pouvait être obtenue.

Elle établissait, de la façon la plus claire, que dans le mécanisme de l'épuration il y a deux mouvements, celui de l'eau, celui de l'air : c'est-à-dire la *distribution des eaux impures à la surface*, la *filtration à travers le sol*, l'évacuation des eaux épurées. Celui de l'air consiste en échanges entre le sol et l'atmosphère ayant pour effet de renouveler la provision d'oxygène dans le sol, à mesure qu'elle est consommée par la combustion des impuretés de l'eau. Et l'importance de cette aération, qui est la condition indispensable de toute épuration, était bien mise en évidence quoique Winogradsky n'eut pas encore montré la fonction aérobie de ses ferments : « *L'aération et la circulation de l'eau sont comme des pourvoyeurs de l'épuration, lui apportant l'un le gaz comburant, l'autre la matière combustible.* » C'était pour favoriser cette aération qu'on recommandait de préparer le sol, de l'ameubler par

des labours profonds, de creuser des drainages. « On voit, disait le rapport de la commission, que les conditions de bonne épuration dont l'homme peut disposer se rapportent à *l'aération du sol et aux mouvements de l'eau.* » C'était préciser de la façon la plus nette les deux conditions indispensables à une épuration totale ; aujourd'hui, nous ne savons diré mieux. Les règles d'une distribution judicieuse de l'eau étaient également établies, que la méthode biologique semble avoir plutôt méconnues. « La distribution de l'eau doit être *faite à faibles doses, fréquemment répétées.* Le *déplacement méthodique de l'eau dans le sol se fait mal quand il est trop brusque ; et si on opère par grandes quantités données à des intervalles de temps éloignés, une partie de l'eau impure descendra tout droit jusqu'au bas du filtre et s'échappera sans être épurée.* » C'est là précisément, nous le verrons, ce qui se produit dans les *lits bactériens* de la méthode biologique. Plus les arrosages seront fréquents, et par suite, faits sous de petites doses, mieux s'opérera la descente de l'eau par déplacement dans toute l'épaisseur du filtre. Le maximum de rendement du filtre serait donc atteint, si l'on pouvait faire une distribution continue, absolument continue ; mais il aurait fallu pour cela assurer une aération suffisante et avec le sable la chose était impossible.

C'est cette impossibilité, de mettre l'eau à épurer

en contact avec une assez grande quantité d'oxygène, qui faisait dire que *l'épuration est un phénomène de combustion lente et nécessairement intermittente*. Nous montrerons qu'il est possible de réaliser artificiellement cette épuration à l'aide de *notre colonne épuratrice*, de faire de l'épuration continue, absolument continue, et, par suite, de traiter un cube d'eau beaucoup plus élevé qu'il n'est possible de le faire sur le sol, sans augmenter de façon sensible le *coefficient de contamination*.

Pour connaître le pouvoir épurant du terrain de Gennevilliers et savoir quel était le volume d'eau qu'on pouvait lui confier à épurer, on procéda de la façon suivante, indiquée plusieurs années auparavant par Frankland : Un tube vertical de 25 à 30 centimètres de diamètre sur 2 mètres de haut, et dont l'extrémité inférieure s'appuyait sur du gravier contenu dans un bassin, était rempli avec la terre de Gennevilliers. Chaque jour on y versait un volume connu et constant d'eau d'égout, et on continuait le même régime pendant plusieurs semaines. Puis, on passait à une dose journalière plus élevée, et on la maintenait encore plusieurs semaines, et ainsi de suite en augmentant toujours la dose jusqu'à ce que l'analyse des liquides filtrés annonçait qu'on avait atteint la dose maxima au-delà de laquelle l'épuration était imparfaite. La capacité du tube étant connue, on calculait sans peine la dose correspondant à un mètre

cube de terre. Comme nous l'avons déjà dit, Durand-Claye et Mille faisaient passer journellement 10 litres d'eau, soit 15 l. 6 par mètre carré d'un sol semblable, dans une caisse contenant 1.280 litres de terre, soit 7 l. 81 par jour et par mètre cube, ou 57.000 mètres cubes par hectare et par an. Et c'est sur ce chiffre que le Rapporteur de la loi de 1894 s'est basé pour imposer le débit actuel de 40.000 mètres cubes à l'hectare-an.

D'autre part, comme ce sol de Gennevilliers retient, après avoir été saturé d'eau et bien égoutté, 150 litres d'eau par mètre cube, un mètre superficiel correspondant à 2 mètres de profondeur de terre retiendrait donc 300 litres d'eau ; et on peut dire que le temps mis par l'eau à s'écouler était de $\frac{300}{15,6} = 19$ jours. En réalité, c'est là

un maximum et nos expériences d'épuration sur sol nu nous ont prouvé que la durée de la filtration pouvait être réduite, sur un terrain convenablement ameubli, à quelques heures.

Nous verrons que dans notre **colonne épuratrice**, le temps maximum de l'épuration est de trois heures seulement. La détermination du pouvoir épurateur par la méthode de Frankland comporte évidemment de nombreuses causes d'erreur dues au défaut d'homogénéité du sol, aux variations de sa profondeur, à celles de l'eau d'égout, etc. Néanmoins,

elle est certainement utile, et peut donner de précieuses indications sur le nombre, le volume des arrosages, l'installation des drainages.

La loi du 10 juillet 1894 accordait à la Ville de Paris un délai de cinq années pour terminer les travaux nécessaires à l'épandage de la totalité de ses eaux d'égout. A partir du 10 juillet 1899, l'organisation actuelle commença donc à fonctionner. Voici, d'après une notice dressée par les soins du service d'Assainissement de la Seine, comment du débouché des collecteurs, les eaux d'égout de Paris arrivent aux champs d'épuration.

« Le tracé de l'émissaire général qui alimente tous les champs d'irrigation de la Ville de Paris part de l'usine de Clichy où aboutissent les collecteurs parisiens ; collecteur de rive droite ou d'Asnières, collecteur de rive gauche dit collecteur Marceau, et le nouveau collecteur de Clichy ; les eaux du collecteur haut, dit collecteur du Nord, sont dérivées par deux galeries traversant Saint-Ouen, qui les conduisent, par la gravité seule, dans la plaine de Gennevilliers.

Dans l'usine de Clichy, sont installées des pompes à vapeur qui refoulent une partie des eaux d'égout vers les terrains de Gennevilliers par des conduites spéciales passant sous les trottoirs du pont de Clichy, et l'autre partie, la plus importante, vers l'usine de Colombes en franchissant la Seine au moyen d'un

siphon et traversant la boucle de Gennevilliers en conduite libre.

Les pompes de Colombes relèvent une seconde fois les eaux et les refoulent dans des conduites forcées en traversant la Seine à Argenteuil au moyen d'un pont métallique. Ces conduites se prolongent jusqu'à un point haut, situé à la côte 60, assez élevé pour dominer toute la vallée de la Seine jusqu'à Mantes, et où reprend un aqueduc libre qui se développe sur la rive droite en passant par Cormeilles, la Frette, Herblay, Conflans, traversant en siphon la dépression de Chennevières et la vallée de l'Oise, et se continuant vers Triel par un long souterrain de 5 kilomètres sous les hauteurs de l'Hautie. Cet aqueduc doit se prolonger ultérieurement sur la rive gauche de la Seine, après l'avoir franchie près de Triel, vers les plaines d'alluvions des Mureaux et d'Epone.

L'émissaire général est capable de porter un débit de 9 mc. 75 à la seconde, c'est-à-dire plus du double du débit actuel des collecteurs parisiens.

Il mesure de Clichy à Triel une longueur totale de 28 kilomètres ; sur ce parcours, il se trouve dominer près de 8.000 hectares de terres irrigables.

Sa pente dans les parties où l'eau coule librement est de 0 m. 50 par kilomètre. La section partout circulaire varie dans ses dimensions suivant les conditions du profil en long. En conduite libre, l'a-

queduc a uniformément 3 mètres de diamètre intérieur, l'eau pouvant s'élever aux trois quarts de la hauteur de la section ; en conduite forcée, l'aqueduc se compose tantôt d'un tuyau unique de 2 m. 30 de diamètre, au départ de Clichy pour la traversée de la Seine, tantôt de quatre conduites de 1 m. 10 de diamètre sur le pont-aqueduc d'Argenteuil au départ de l'usine de Colombes, tantôt de deux conduites de 1 m. 80 de diamètre intérieur à la suite du pont pour le refoulement de l'usine de Colombes jusqu'au point haut sur le plateau d'Argenteuil, tantôt enfin d'une conduite forcée unique de 2 mètres de diamètre à la traversée du vallon de Chennevières et de la vallée de l'Oise. L'émissaire général détache des branches secondaires alimentant les divers champs d'irrigation.

C'est d'abord sur la gauche, à l'hectomètre 144 + 22 mètres la branche du parc agricole d'Achères, qui descend au Val d'Herblay, traverse la Seine en siphon et aboutit au réseau de distribution ; elle se compose de deux conduites forcées de 1 mètre de diamètre chacune.

Puis, plus loin à l'hectomètre 168 + 46 mètres se détache, à droite, la branche de Méry, conduite libre circulaire de 2 mètres de diamètre et de 0 m. 60 de pente, qui aboutit à l'usine de relais de Pierrelaye, après avoir détaché elle-même, sur la gauche,

FOR ETHEMONTA 1002500



Fig. 4.

une branche dite « des Courlins » de même diamètre et de 1 m. 60 de pente par kilomètre.

Enfin, la presqu'île de Carrières, où se trouve le domaine municipal des Grésillons, est alimentée par l'extrémité de l'émissaire général, provisoirement arrêté à Triel, et par la branche de Carrières, qui s'en détache sur la gauche du souterrain de l'Hautie à la hauteur de Chanteloup. La branche de Carrières mesure 2 mètres de diamètre intérieur et présente une pente de 0 m. 15 par kilomètre.

Pour assurer une sécurité absolue, les conduites forcées sont enveloppées dans des galeries au voisinage des centres habités :

1° Les deux conduites de 1 m. 80 à Argenteuil sont enfermées dans une galerie de 5 m. 16 d'ouverture ;

2° Les deux conduites de 1 mètre au Val d'Herblay dans une galerie de 3 m. 40 d'ouverture.

Le système évatoire des eaux de l'émissaire général comporte deux usines principales : l'usine de Clichy et l'usine de Colombes. En dédoublant ainsi l'usine évatoire, on a évité les hautes pressions et leurs dangers dans la traversée de la presqu'île de Gennevilliers.

L'installation mécanique de l'usine de Clichy comprend quatre machines horizontales actionnant chacune une pompe centrifuge.

Ces pompes peuvent débiter 2.000 à 2.500 litres par seconde en refoulant sur l'usine de Colombes à 5 ou 6 mètres de hauteur.

Les moteurs et les pompes de l'usine de Colombes sont disposés dans une vaste salle de 106 mètres de longueur sur 35 mètres de largeur ; l'usine est en état de refouler 6.800 litres par seconde à plus de 40 mètres de hauteur.

Avant de pénétrer dans la galerie d'aspiration des machines, à Clichy comme à Colombes, les eaux s'évalent dans des bassins, dits « de dégrossissage où sont arrêtés :

1° Les corps flottants, fumiers, paille, etc., au moyen de grilles parcourues par des râeaux automatiques ;

2° Les sables et les vases qui se déposent dans les bassins et y sont puisés au moyen de dragues à mâchoires, supportées par des ponts roulants, lesquelles déposent leur contenu soit dans des wagons, soit dans des bateaux appropriés ; le tout est mû électriquement.

A Pierrelaye, une troisième usine est destinée au relèvement d'une partie des eaux d'égout dérivées de l'émissaire général au moyen de la « branche de Méry » et nécessaires à l'irrigation de 1.200 hectares environ de terrains situés dans la région de Méry-Pierrelaye. Ces terrains comprennent notamment le domaine municipal de Méry-sur-Oise.

L'installation mécanique de l'usine comprend trois groupes de machines et pompes éleveurs. L'ensemble des appareils est établi pour assurer en marche normale l'élévation de 1.200 litres d'eau par seconde, soit 100.000 mètres cubes par vingt-quatre heures à des hauteurs variant de 25 à 35 mètres.

Les eaux, après avoir circulé dans ces vastes canalisations, sont donc répandues à la surface du sol des régions de Gennevilliers, Achères, Carrières, Triel, Méry-Pierrelaye.

La distribution des eaux d'irrigation s'opère d'après les mêmes principes dans les quatre champs d'épuration et dans chacun d'eux, à la dose légale 40.000 mètres cubes par hectare et par an.

Le réseau de distribution comprend :

1° Des conduites maitresses en maçonnerie ou en béton de 1 m. 25 à 1 mètre de diamètre et un réseau de conduites de 0 m. 60 à 0 m. 45 de diamètre, représentant ensemble une longueur de 55 kilomètres ;

2° Des branches fermées par des clapets à vis qui distribuent l'eau à la surface du sol. Les terrains à irriguer sont disposés par raies et billons, de manière que l'eau d'égout coule dans les raies et rigoles, imbibé la couche arable et baigne les racines des plantes sans couvrir le sol ni toucher les tiges et les

feuilles ; c'est le système d'irrigation dit « par infiltration ».

Le drainage est destiné à recueillir les eaux qui sont infiltrées à travers le sol et à empêcher l'élévation de la nappe souterraine.

Il se compose de tuyaux perforés en béton de 0 m. 30 à 0 m. 45 de diamètre, placés à 4 mètres de profondeur environ au-dessous du sol, de manière à recevoir les eaux épurées pour les conduire à la Seine.

A Achères, les drains sont à ciel ouvert ou couverts, c'est-à-dire en tuyaux. Les premiers ont été disposés en partie pour l'agrément de la propriété et ont reçu l'aspect décoratif de rivières anglaises avec lacs et îlots artificiels, rocailles, petites cascades, passerelles.

Les abords du drain d'Herblay et du drain des Noyers sont aménagés en jardins anglais, et les rives gazonnées sont complantées d'arbres, notamment de peupliers, jusqu'à la Seine, de manière à concourir à l'embellissement du domaine.

La surface irriguée a subi une progression croissante ; partie de 50 hectares en 1872, elle atteignait 295 hectares en 1876 ; 450 en 1880 ; 616 en 1884 ; 715 en 1889.

L'ensemble des champs d'épuration, dès aujourd'hui canalisés et pourvus de tous les organes de la

distribution, représente une superficie totale de 5.000 hectares ainsi répartie :

1° Gennevilliers.....	900	hectares
2° Parc agricole d'Achères....	1.000	—
3° Méry-Pierrelaye.....	2.150	—
4° Carrières-Triel.....	950	—
	5.000	hectares

Ce qui permettra, lorsque les cultures auront été convenablement aménagées, d'épurer à la dose légale, 5.000×40.000 mètres cubes $= 200.000.000$ mètres cubes d'eau d'égout par an.

D'ailleurs, l'eau n'est pas distribuée d'une manière continue ; au contraire, l'irrigation est systématiquement intermittente, ce qui est la condition essentielle du bon fonctionnement du système.

Tout le débit d'une journée est concentré sur une partie de la surface ; le lendemain c'est une autre partie qui est arrosée ; puis une troisième, et ainsi de suite, de manière qu'il n'y ait jamais, à un moment donné, plus d'un quart de la superficie totale qui soit soumis à l'épandage, et que l'eau ne revienne au même point que tous les quatre ou cinq jours, suivant la nature des cultures.

Au point de vue du régime de la culture, les champs se divisent en deux catégories :

1° Les domaines municipaux, qui comprennent

1.000 hectares au parc d'Achères, 520 hectares à Méry et 100 hectares dans la presqu'île de Carrières, soit au total 1.620 hectares, où le système d'exploitation choisi est l'affermage ;

2° Les cultures libres, qui comprennent les 900 hectares de Gennevilliers, 1.630 hectares à Méry et 850 hectares à Carrières.

Les 900 hectares de Gennevilliers sont depuis longtemps en pleine exploitation.

Quant à la nature des cultures, à Gennevilliers, par suite de la proximité de la capitale et du grand morcellement de la propriété, l'exploitation dominante est la culture maraîchère.

A Achères, au contraire, l'éloignement de Paris et les grandes surfaces de terrains concédées ont forcément fait passer la culture maraîchère au second plan, tandis que les cultures industrielles de betteraves et de pommes de terre, ainsi que les prairies, jouent un rôle prédominant. »

On récolte donc surtout des légumes et des fourrages. Les premiers sont hâtifs, très gros mais aussi très aqueux. Leur origine, d'ailleurs, n'est point pour eux, aux Halles, un prétexte de dépréciation. Quant aux fourrages, s'ils sont abondants (on fait en moyenne quatre à cinq coupes par an), ils sont généralement un peu grossiers, mais ils conviennent cependant aux bestiaux.

La question a été soulevée, il y a quelques mois, de

la valeur du lait des vaches nourries avec ce fourrage. Les expériences de Lawes, qui datent déjà de plus de trente ans, paraissent bien établir que leur consommation n'exerce aucune influence fâcheuse ni sur la santé de l'animal, ni sur les qualités alimentaires de son lait. Ayant récolté le foin d'une prairie irriguée à l'eau d'égout de Rugby et celui d'une prairie cultivée normalement, Lawes les donnait à des bœufs et à des vaches. Il était arrivé aux conclusions suivantes :

1^o Les bœufs restaient dans les conditions ordinaires d'accroissement, que le foin provint de la prairie arrosée ou de celle qui ne l'était pas ;

2^o La quantité de lait fournie par une quantité donnée de nourriture fraîche fût exactement la même dans les deux cas, et comme la matière sèche contenue dans l'herbe de la prairie arrosée était en moindre quantité, il en résulte qu'elle avait poussé à la production du lait beaucoup plus que l'autre. Quand on donna le maximum d'arrosement on obtint environ deux mille francs par hectare ;

3^o L'herbe fournie par la prairie arrosée contenait beaucoup plus d'eau que celle récoltée sur la prairie non arrosée, mais la matière sèche de la prairie arrosée était également beaucoup plus riche en matière azotée ;

4^o Le lait des vaches alimentées avec le foin de la prairie arrosée présentait à peu près la même com-

position que celui des vaches qui avaient reçu le foin de la prairie sèche.

Il faut rapprocher de ces conclusions celles de Smeet junior, que M. le professeur Calmette signalait dans la séance de juin 1906 de la Société de Médecine publique : « Ces expériences portaient sur le lait de deux vaches, nourries l'une avec de l'herbe poussée sur prairie normalement fumée, l'autre avec de l'herbe poussée sur prairie irriguée à l'eau d'égout. Le lait de la vache nourrie avec ce dernier fourrage devenait aigre, puis putride, beaucoup plus rapidement que celui de l'autre vache. De même, le beurre fait avec le lait de la première vache avait mauvais goût et devenait rapidement rance. » Ce fait n'est point pour nous surprendre. La qualité d'un lait varie, en effet, non seulement avec l'espèce laitière, mais aussi avec la nourriture prise par l'animal et qui change avec la saison. Dans le Nord, en particulier, les vaches nourries avec les drèches de betteraves donnent un lait qui se conserve assez mal et dont le beurre prend vite une mauvaise odeur.

La conclusion à tirer de l'expérience de Smeet serait donc que le lait des vaches nourries à l'eau d'égout doit être consommé aussi vite que possible ; à moins que par l'ébullition on arrive, ce qui est vraisemblable, à pouvoir le conserver plus longtemps.

Tous les hygiénistes sont unanimes à reconnaître que l'épandage, pratiqué comme nous venons de le dire, donne au point de vue de l'analyse chimique les résultats les meilleurs.

Les chiffres suivants, fournis par les analyses de l'observatoire de Montsouris, montrent que si la matière organique ne disparaît pas complètement (et on en trouve dans les eaux de source les plus pures) la nitrification est toujours complète, l'eau épurée est toujours claire, d'une limpidité absolue.

ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOUT DE PARIS PAR ÉPANDAGE
SUR SOL CULTIVÉ

	Matières organiq.	Azote.			Bactéries.
		Nitreux.	Nitrique.	Ammo- niacal.	
Collecteur d'Asnières	34,9	0	2,2	16,7	11.750.000
<i>Eau épurée.</i>					
Drain des Grésil- lons.....	1,2	0	27,3	0	1.175
Drain des Noyers.	0,9	0	15,3	0	188
Drain de Ga- renne.....	1,8	0	15	0	2.350
Coefficient de contamination : < 1.					

Au point de vue bactériologique, l'épuration est en général aussi parfaite.

On voit qu'en appliquant aux eaux épurées sur le sol notre *coefficient de contamination*, on constate, comme nous l'avons dit, qu'il est négatif, c'est-à-dire que les drains déversent dans la Seine une eau plus pure que ne l'est celle du fleuve au barrage de Suresnes. Et, on sait que jusqu'à l'année dernière la Compagnie générale des Eaux de la banlieue de Paris puisait en ce point l'eau qui alimentait les communes d'Asnières, Colombes, Bois-Colombes, Courbevoie, Gennevilliers, Nanterre, Suresnes, Rueil, c'est-à-dire une population de plus de cent-cinquante mille habitants. Et c'est cette eau que nous prenons comme *étalon* pour établir le *coefficient de contamination*.

Ce résultat confirme bien ce que disait Pasteur de l'efficacité de l'épuration par le sol et de la qualité des eaux souterraines fournies par l'irrigation. « Ces eaux, disait-il, sont inoffensives. Je suis très affirmatif sur ce point parce que j'ai fait des expériences. Il suffit de quelques mètres de terre à traverser pour que les eaux d'égout soient filtrées et pour que les germes restent dans la terre. »

La conclusion d'une étude de M. Bertillon sur l'état sanitaire des communes arrosées par l'eau d'égout ferait cesser, s'il en était encore besoin, les inquiétudes des hygiénistes sur les dangers que pourrait présenter ce mode de destruction des *ex-*

créta de Paris. « L'état sanitaire de ces communes, disait M. Bertillon, n'est ni notablement meilleur, ni pire que celui des autres localités du Nord et de l'Ouest de Paris ; les maladies épidémiques, notamment, n'y sont pas plus répandues, et, l'emploi de l'eau d'égout comme engrais n'exerce sur la santé publique aucune influence nuisible. »

Au point de vue économique, les résultats peuvent ne pas sembler merveilleux si l'on est persuadé qu'il faut arriver à utiliser la masse totale des matières fertilisantes que renferment les eaux d'égout ; que c'est là un devoir d'économie sociale. Il est certain qu'il est très difficile de concilier les besoins de l'épuration et ceux de la culture, car ceux-ci ne sont pas constants et de plus ils varient avec chaque récolte.

Sans doute une partie des richesses de l'eau d'égout est perdue, mais n'en est-il pas un peu de même dans toute exploitation agricole si bien conduite soit-elle ? Est-ce qu'une partie notable de l'azote des fumiers, de celui des engrais minéraux, nitrate de soude, sulfate d'ammoniaque, n'est pas entraînée chaque jour dans les eaux de drainage, complètement perdue pour l'agriculteur qui, à grands frais, en avait fumé ses champs ? Elles ne sont d'ailleurs pas, il s'en faut, complètement perdues. On doit bien reconnaître que la distribution de l'eau d'égout a fait la fortune des contrées où elle est appliquée. A Achères, à Triel, les terrains sableux qui se

louaient jadis de 20 à 30 francs l'hectare se louent aujourd'hui de 130 à 150 francs. A Gennevilliers, des terrains qui se vendaient autrefois de 500 à 600 francs l'hectare, valent aujourd'hui 15.000 francs.

Si l'hygiéniste ne doit pas écarter de ses préoccupations les considérations économiques, l'utilisation de ces richesses ne doit pas en revanche être le but principal de ses efforts. Et, la population parisienne ne saurait avoir trop de reconnaissance pour les ingénieurs éminents qui ont su résoudre, malgré les plus grandes difficultés le problème si complexe de l'assainissement de Paris et de la Seine, ainsi que pour les administrateurs et les édiles qui ne leur ont marchandé ni leur appui moral, ni les moyens financiers.

L'épuration biologique.

L'installation des champs d'épandage n'avait pu réussir aussi complètement que grâce à un ensemble de circonstances qu'il est difficile de trouver partout réunies, et qui sont cependant indispensables au succès de l'épuration.

L'aspect noirâtre et les odeurs fort désagréables de l'eau d'égout, lorsqu'elle arrive à la chambre des vannes à Triel, montrent assez que s'il avait fallu prolonger encore longtemps son séjour dans l'émissaire, sa distribution aurait pu devenir fort désagréable pour les ouvriers occupés dans les champs et pour les habitants du voisinage. De plus, par sa perméabilité, le sol des caps de la Seine était éminemment favorable à l'*épandage*, car il permettait l'infiltration facile de l'eau dans sa profondeur et par suite la circulation abondante de l'air dans ses pores, c'est-à-dire l'oxydation des matières qui caractérisent l'eau d'égout. Malgré cette porosité, le pouvoir épurateur des champs d'épandage est,

vous l'avons vu, assez limité : 40.000 mètres cubes par hectare-an, c'est-à-dire environ 11 litres par jour et par mètre carré. Pour pratiquer l'*épandage*, il faut donc disposer de grandes surfaces de terrain suffisamment perméable et situé à proximité des centres de pollution. D'autre part, les progrès de l'hygiène rendant de plus en plus manifestes les avantages du *tout à l'égout*, le cube des eaux usées augmente chaque jour. En revanche, les nouveaux champs d'irrigation qu'exigerait cet accroissement deviennent aussi chaque jour et plus difficiles et plus coûteux à se procurer, par suite du développement sans cesse croissant de la population de la banlieue parisienne.

Aussi le service d'Assainissement de la Seine ne pouvait-il se désintéresser de l'étude des procédés nouveaux d'épuration appliqués en Angleterre depuis 1891 par Scott-Moncrief, Dibdin, Cameron, sous le nom de **Bacterial purification of sewage ; Bacterial process**, et qui auraient permis de traiter sur des surfaces très réduites, d'un sol artificiel, un volume considérable d'eaux usées.

Dans les premiers jours de l'année 1901, M. Launay, qui occupait alors les fonctions de Chef de l'Assainissement de la Seine, nous faisait connaître, dans un rapport de mission très documenté, le fonctionnement de l'*épuration bactérienne*, tel qu'elle était pratiquée en Angleterre où il s'était rendu pour l'étudier sur place.

La même année, notre maître, M. le Professeur Calmette, très séduit par les mérites de cette méthode, l'appliquait au traitement des eaux de l'abattoir de Lille, puis à celui des eaux de Verviers, du sanatorium de Montigny-en-Ostrevent et enfin à celui des eaux usées de Lille dans son élégante station expérimentale de la Madeleine. Dans une série d'articles et de communications, dans ses deux volumes « Recherches sur l'épuration biologique et chimique des eaux d'égout », le savant Directeur de l'Institut Pasteur de Lille publiait le résultat de ses travaux et nous mettait au courant des progrès réalisés en Angleterre, en Allemagne, en Hollande, aux Etats-Unis.

Nous-même, dans le *journal de Pharmacie et Chimie* des 15 avril et 1^{er} juin 1904, avons rendu compte de nos premières recherches sur *l'épuration des eaux d'égout parisiennes par la méthode bactérienne*.

Les premiers hygiénistes anglais qui l'avaient appliquée se proposaient d'obtenir, artificiellement, la minéralisation des matières putrescibles de l'eau d'égout par deux processus que l'on a longtemps opposés l'un à l'autre et qui au contraire, se complétant l'un l'autre, ne peuvent être appliqués l'un sans l'autre. Dibdin épurait les eaux de Barking dans ses *bacteria-bed* ou *lits bactériens*, *lits de contact*, par l'action de microbes aérobies ; Cameron arrivait au même but en faisant agir des microbes

anaérobies dans son *septic tank* d'Exeter ou *fosse septique*. En fait, Cameron ne pouvait pas se passer des *lits* de Dibdin et Dibdin de la *fosse* de Cameron.

L'épuration bactérienne, telle qu'on la conçoit généralement aujourd'hui, se produirait en deux temps. Les microbes anaérobies qui ont déjà attaqué le bol alimentaire dans notre tube digestif vont continuer cette attaque sur les matières de l'eau d'égout. Pour favoriser cette action, celle-ci est conservée pendant 24 heures dans des fosses ouvertes ou fermées, dites *fosses septiques*, *septic tank*. Puis cette eau sera soumise aux influences de nouvelles espèces de microbes aérobies, vrais ou facultatifs, dans des bassins remplis de scories plus ou moins grossièrement concassées, dits *lits de contact*, *lits bactériens*, *bacteria bed*. Le résultat de ces interventions microbiennes successives sera la minéralisation des substances putrescibles de l'eau d'égout ; minéralisation c'est-à-dire épuration dont les diverses phases auront été les mêmes que celles qui auraient eu lieu si les eaux avaient été traitées par l'*épandage sur sol naturel*. Grâce à une heureuse domestication de ces microorganismes, cette minéralisation s'effectue ici avec une extrême rapidité et sur un sol artificiel n'occupant qu'une surface relativement minime.

Enfin cette méthode permettrait, dans certains cas, la liquéfaction, la gazéification de la totalité des ma-

tières insolubles, de sorte que la *fosse septique* pourrait fonctionner sans arrêt, indéfiniment, sans être comblée par les boues.

Cette épuration, se produisant sans l'addition d'aucun réactif chimique, due exclusivement à l'action des microbes que l'eau contenait, est donc bien une **épuration biologique**, une **épuration microbienne**.

Il ne nous semble pas que l'on puisse attribuer à Scott-Moncrief, ni à Cameron, l'idée d'appliquer l'autodissolution des matières solides de l'eau d'égout à son épuration. Bien avant eux, Mouras et l'abbé Moigno en France, Mueller en Allemagne, avaient proposé d'utiliser ces fermentations.

Dans un article du *Cosmos* de Janvier 1882, l'abbé Moigno présentait un appareil que Mouras avait fait breveter sous le nom de *vidangeuse automatique* : « Je ne saurais, disait-il, assez me réjouir d'être appelé à doter la France et le monde entier de la solution inattendue du plus important des problèmes, solution qui délivrera l'humanité d'un redoutable fléau. Il s'agit d'un appareil dont l'adoption aura pour résultat définitif la suppression des odeurs qui empestent les villes et qui livrera les déjections fermentées sous forme d'un liquide homogène presque inodore. Au sein de cet appareil il se développe un travail qui donnerait, *à l'abri du contact de l'air*, des fermentations putrides dont le terme est la dissolu-

tion, la liquéfaction des matières fécales solides, et qui supposent l'action des microbes anaérobies de M. Pasteur. »

N'est-ce pas là, et très nettement indiqués, les qualités et le fonctionnement de la fosse septique : liquéfaction des matières solides, obtention d'un liquide ne contenant plus de matières en suspension, action des anaérobies de M. Pasteur !

« Il se fait, disait-il encore, à l'intérieur de la vidangeuse, un travail de fermentation complètement imprévu, qui dissout dans un temps plus ou moins court les matières fécales les plus solides, et divise les corps étrangers en grains ou filaments si ténus qu'on les voit à peine flotter dans le liquide trouble, sans que celui-ci forme de dépôt adhérent aux parois des vases ou des tuyaux dans lesquels il s'écoule.

« Une expérience démonstrative faite avec une vidangeuse à parois de verre a révélé les faits suivants :

« 1^o Des matières fécales, introduites avec de l'urine, des eaux de savon et de vaisselle, sont complètement délayées au bout de vingt-cinq jours : les corps légers, tels que débris d'aliments non digérés, papiers, etc., après avoir surnagé un certain temps, finissent par disparaître et comme se dissoudre dans la masse liquide.

« 2° L'eau qui sort de la fosse n'a qu'une très faible odeur.

« 3° Une vessie adaptée à l'aide d'un tube au-dessus de la fosse d'expérience, ne se gonfle pas, mais s'aplatit davantage ; donc, au lieu de dégagement de gaz, il y a plutôt absorption.

« 4° Lorsqu'on débouche la fosse, on ne constate que très peu d'odeur ; mais si on la laisse longtemps ouverte, les gaz se dégagent et répandent une odeur nauséabonde.

« 5° La désagrégation des matières en suspension semble être d'autant plus active qu'il y rentre plus d'eau :

Donc, le remplissage de la fosse par l'eau et la fermeture hermétique sont les deux conditions nécessaires et suffisantes pour le fonctionnement de la vidangeuse automatique. »

C'est cette méthode du **Septic Tank avec double contact aérobie** que nous avons essayé d'appliquer, dès les premiers jours de Décembre 1900, dans une expérience de laboratoire, à l'épuration des eaux usées de Paris.

Nous avons adopté le dispositif suivant : L'eau d'égout était introduite dans un tube de verre de 1 mètre de long et de 6 centimètres de diamètre, fermé à la partie inférieure par un bouchon en caoutchouc percé d'un trou, dans lequel passait un deuxième tube de verre de 5 millimètres de diamètre

et qui pénétrait dans l'intérieur du gros tube jusqu'à une hauteur de 30 centimètres environ. Un ajutage en caoutchouc et une pince de Mohr permettaient de régler l'écoulement de l'eau. Après un séjour de vingt-quatre heures dans ce tube fermé, l'eau était recueillie dans un flacon portant un robinet à sa partie inférieure par où elle s'écoulait dans un tube de verre semblable au premier, rempli de fragments de machefer ou scories, du volume d'une grosse cerise. Ce tube, ouvert à sa partie supérieure, était bouché à sa partie inférieure, comme le précédent.

Après un séjour de deux heures dans ce premier tube, l'eau était recueillie, puis versée dans un troisième tube de même dimension et rempli de fines scories, dont les plus gros morceaux n'avaient pas plus de 7 à 8 millimètres de diamètre. Elle y séjourrait deux heures, et au bout de ce temps l'épuration était terminée.

Les trois tubes étaient fixés sur un support en bois muni d'une tablette, sur laquelle on plaçait le flacon à robinet, d'où l'eau s'écoulait sur les filtres.

Dans le premier tube que l'on bouchait lorsqu'il était plein, ou *tube à putréfaction*, il y avait tout d'abord un entraînement mécanique des matières que l'eau tenait en suspension, et qui gagnaient le fond du tube. Mais il y avait aussi autre chose. Pendant trois mois, du 9 Décembre 1900 au mois de Mars 1901, nous avions rempli presque chaque jour ce tube

d'eau d'égout et, au bout de ce temps, le dépôt qui s'était formé n'avait pas plus de 3 à 4 centimètres d'épaisseur. En revanche, l'eau qui, à la sortie, contenait beaucoup moins de matières en suspension qu'à l'entrée, devenait chaque jour de plus en plus noirâtre, de plus en plus fétide.

A sa surface s'était formée une mince pellicule glaireuse, noire, que venaient déchirer de temps à autre de rares bulles gazeuses. Les microbes anaérobies, contenus dans l'eau en grand nombre, y rencontraient d'excellentes occasions pour végéter et se reproduire : ils étaient à l'abri de l'oxygène, d'une lumière trop vive, et avaient à leur disposition une nourriture aussi copieuse que variée. Sous l'action des diastases qu'ils sécrétaient, ces substances étaient attaquées ; une partie était décomposée en éléments gazeux, acide carbonique, hydrogène, azote, formène, le reste subissait une sorte de liquéfaction, de peptonisation plus ou moins complète ; il y avait eu dislocation de la molécule organique primitive et passage de celle-ci à une autre moins complexe, peptones d'abord, puis peut-être acides amidés, glycocolle, leucine, tyrosine.

Ainsi s'expliquerait la formation très peu abondante du dépôt : chaque nouvelle addition d'eau tendait à l'augmenter, mais à chaque instant aussi les microbes intervenaient pour le détruire. Il se produisait donc dans notre *tube à putréfaction* une double ac-

tion : une action mécanique et une action biologique. Les nombreuses analyses que nous avons faites de l'eau d'égout, à l'entrée et à la sortie de ce tube, indiquaient d'une façon constante une diminution faible mais réelle de l'azote albuminoïde et de la matière organique et une augmentation de l'azote ammoniacal. Quant à l'azote nitrique, il ne s'en était pas formé.

Ainsi sur nos filtres à scories, nous faisons écouler une eau chargée de matières organiques dissoutes, mais pauvre en éléments solides. Dès le premier jour, après le passage sur le premier filtre, l'eau était claire, légèrement odorante ; la matière organique et l'ammoniaque avaient diminué. Après le passage sur le deuxième filtre, cette diminution était beaucoup plus sensible ; l'eau était complètement inodore mais *très opalescente*.

Croyant activer la nitrification, nous fîmes bientôt séjourner l'eau plus longtemps sur les filtres. Au lieu de deux heures, le contact sur les scories fut de six heures pour chaque filtre. Nous espérions produire ainsi une épuration plus complète, diminuer l'ammoniaque et la matière organique, augmenter la nitrification. C'est tout le contraire qui eut lieu : la quantité de matière organique augmenta, il n'y eut aucune nitrification, et plusieurs fois l'eau d'égout filtrée contenait plus d'ammoniaque que l'eau d'égout brute. Devant cet insuccès, nous réduisîmes la

durée du contact à deux heures seulement. Le filtre se remplissait en une heure, restait plein deux heures, se vidait en une heure. L'ammoniaque et la matière organique diminuèrent un peu ; l'eau, qui pendant les expériences précédentes était jaunâtre et fortement odorante, redevint claire ; son odeur s'atténua notablement ; elle disparut après la deuxième filtration ; mais la nitrification ne se produisait toujours pas.

MM. le docteur Roux et le docteur Calmette nous donnèrent alors l'idée de diminuer le volume des scories et de provoquer dans la masse de nos filtres une aération artificielle, à l'aide d'une trompe à eau. Le filtre n° 2 à scories fines devint le filtre n° 4 à grosses scories ; et les grosses scories qui formaient le filtre n° 1 furent concassées finement, de manière que les plus grosses eussent à peu près le volume d'un pois. Elles formèrent le nouveau filtre n° 2 à scories fines. Aussitôt l'épuration devint plus active : de 31 milligrammes, la matière organique tomba à 4 milligrammes, après la deuxième filtration ; l'ammoniaque passa de 18 milligrammes à 12 milligrammes ; il n'y eut plus que des traces d'azote albuminoïde ; enfin la nitrification commença : après la première filtration l'eau contenait 3 milligrammes d'azote nitrique ; elle en contenait 7 mgr. 4 après la deuxième.

Cette amélioration ne fut point momentanée ; elle

s'accroît, et deux mois après, il n'y avait que 3 mgr. 6 de matière organique, 3 milligrammes d'ammoniaque, des traces d'azote albuminoïde ; et la quantité d'azote nitrique s'élevait à 18 milligrammes. Ce sont les meilleurs résultats que nous ayons obtenus. L'eau était claire et très opalescente et cette opalescence disparaissait si on laissait l'eau au repos au contact de l'air.

Nos filtres étaient alors en pleine activité. Nous avons pu à ce moment diminuer la durée du séjour de l'eau sur les scories, sans nuire à l'épuration. Nous remplissions le filtre en une demi-heure, nous le laissions plein une heure et demie, nous le vidions en une demi-heure ; et nous *obtenions des résultats sensiblement identiques à ceux obtenus par un contact de deux heures*. Nous avons aussi essayé de diminuer la durée du séjour de l'eau dans le *tube à fermentation* ; et nous avons constaté qu'après être restée six heures seulement dans ce tube, l'eau s'épurait comme si elle y avait séjourné vingt-quatre heures.

En réduisant le volume des scories, et en pratiquant une aération artificielle, nous mettions à la disposition des microbes aérobies qui peuplaient nos filtres, en particulier les ferments nitreux et nitriques, une plus grande quantité d'oxygène. Ce sont ces microbes, en effet, qui continuaient la destruction et la

transformation de la matière organique ébauchées dans le tube à fermentation.

En prolongeant le séjour de l'eau dans nos tubes, nous avons noyé les scories et les microbes fixés sur elles, dans une masse d'eau très pauvre en oxygène; nous les avons privés de ce corps dont ils sont assoiffés, nous avons nui à leur vitalité et favorisé au contraire, l'action des anaérobies : au lieu de produire des nitrates, nous avons obtenu de l'ammoniaque.

Peut-être eut-il été sage, puisque l'épuration s'opérait d'une manière satisfaisante, de ne rien changer au fonctionnement de nos filtres. Cependant, comme nous voulions nous rendre compte de l'importance du volume des scories, nous avons vidé ces filtres et nous avons tamisé les scories à l'aide d'un tamis à mailles fines de 4 millimètres environ. Pour hâter la tamisation, nous avons placé le tamis rempli de ces scories sous le jet d'un robinet, dont l'eau entraînait ainsi, rapidement, les poussières et les plus petits fragments. Les scories furent remplacées dans les tubes, et les filtres ainsi modifiés remis en fonctionnement.

La quantité d'eau épurée augmenta de tout ce qui avait passé à travers les mailles du tamis, mais l'épuration s'en ressentit; il y eut augmentation de l'azote albuminoïde, de l'azote ammoniacal et de la matière organique, diminution de l'azote nitrique.

Nous avons ainsi augmenté le volume des espaces compris entre les scories et dans lesquels l'eau séjournait sans être en contact avec les microbes oxydants. D'autre part, ceux-ci, qui s'étaient peu à peu fixés et logés à la surface et dans les pores des scories, avaient été entraînés par l'eau du robinet et nous avons ainsi dépeuplé nos filtres.

L'eau épurée était toujours claire et souvent inodore après la première filtration ; *elle restait toujours opalescente* ; elle contenait en moyenne de 8 à 10 milligrammes d'ammoniaque par litre, de 5 à 7 milligrammes de matière organique.

La quantité d'azote nitrique variait de 11 à 23 milligrammes, celle de l'azote albuminoïde de 0 mgr. 4 à 0 mgr. 9. Nous y faisons vivre des poissons rouges qui n'en paraissaient nullement incommodés, ce qui prouve bien que ce poisson est un réactif très infidèle de la pollution d'une eau.

La flore microbienne avait éprouvé aussi une amélioration assez sensible. Alors que l'eau d'égout brute contenait de 6 à 12.000.000 de germes microbiens aérobies par centimètre cube, l'eau filtrée n'en contenait plus que 4 à 600.000. Nous y avons toujours constaté la présence du bactérium coli.

Avec nos filtres, nous épurions 760 centimètres cubes d'eau sur 3.522 centimètres cubes de scories, soit 215 litres d'eau par mètre cube de scories.

En faisant travailler les filtres trois fois par jour, comme on le fait en Angleterre, on aurait un débit de 645 litres par mètre cube de scories.

Ainsi, une eau noire, puante, polluée de détritits et de matières organiques de toutes sortes, comme l'est l'eau d'égout, peut devenir très rapidement claire, inodore. L'épuration n'était pas totale, puisque le *coefficient de contamination* $\frac{3,6 + 4}{2} = 3,3$ n'était pas égal à l'unité, mais elle était certainement bien avancée.

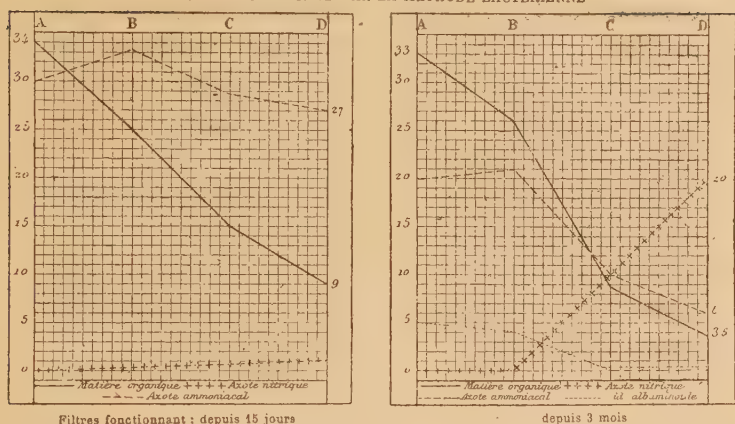
Le tableau et les courbes suivantes indiquent le résultat de cette expérience.

Epuration bactérienne des eaux d'égout de Paris. Expériences de laboratoire.

	Matières organiques				Ammoniaque				Nitrates			
	A.	B.	C.	D.	A.	B.	C.	D.	A.	B.	C.	D.
11 déc. 1901..	34	28	14	7.2	22.5	24	16	10	0	0	3.6	5
13 déc. 1900...	36	33	20.5	6.6	23	26	19	16	0	0	traces	3
14 déc. 1900...	44	34	16	7.4	21	23	19	17	0	0	0	3
28 janv. 1901..	31	26	13	4	18	26	15	12	0	0	3	7.4
4 fév. 1901...	46	40	13.8	3	51	54	35	8.7	0	0	0	9
10 fév. 1901...	28	25	13	4.5	27	30	15	9	0	0	13	18.5
27 fév. 1901...	31	26	10	3.6	28	33	19	3	0	0	11	20

A : Eau d'égout brute ;
 B : Eau d'égout du tube à putréfaction ;
 C : Eau d'égout à la sortie du premier tube ;
 D : Eau d'égout à la sortie du deuxième tube.

EAU D'ÉGOUT ÉPURÉE PAR LA METHODE BACTERIENNE



Filtres fonctionnant : depuis 15 jours
A. Eau d'égout brute. — B. Eau d'égout putréfiée. — C. Eau d'égout après la 1^{re} filtration. — D. Eau d'égout après la 2^e filtration.

Fig. 5.

Il y avait donc lieu d'espérer que la **méthode biologique, des lits de contact**, appliquée aux eaux d'égout de Paris, pourrait peut-être, dans une certaine mesure, seconder celle de l'**épandage sur sol naturel**. Un point était particulièrement intéressant, c'était la disparition d'une partie importante des boues, que prouvait la très faible épaisseur du dépôt formé dans le fond de notre *tube à putréfaction*. Nous savions très bien d'ailleurs que l'eau d'égout, puisée à la surface de la rigole d'alimentation du **Jardin modèle** ne contenait qu'une très minime quantité de matières minérales insolubles, et que le dépôt eut été beaucoup plus abondant si l'eau avait été puisée dans les parties basses de la rigole. Le

résultat indiquant cependant une liquéfaction des matières organiques insolubles était assez encourageant ; et MM. les ingénieurs Bechmann et Lounay décidèrent de poursuivre ces expériences sur une plus vaste échelle.

Elles furent de deux ordres : **Traitement des eaux usées sur un seul lit bactérien, après séjour en fosse septique ; et traitement sur trois lits bactériens, sans interposition de fosse septique.**

EPURATION BIOLOGIQUE

Epuration sur lit de contact avec fosse septique.

Cette installation commença à fonctionner le 11 avril 1902. Elle comprenait une *fosse septique* ouverte, de forme à peu près carrée, ayant 8 m. 40 de long sur 8 m. 05 de large et une profondeur de 1 m. 80, soit 120 mètres cubes.

L'eau d'égout y était amenée de la rigole du **Jardin modèle**, par un tuyau qui pénétrait dans la fosse à 0 m. 80 de profondeur. Elle y séjournait vingt-quatre heures, l'expérience ayant montré en Angleterre que cette durée était la plus convenable. Puis on la distribuait alternativement sur trois *lits de contact* à la dose moyenne de 250 litres par mètre carré superficiel. Chacun d'eux avait 2 m. 71 de largeur, 11 m. 55 de longueur et 0 m. 80 de profondeur. L'un était rempli de scories du volume d'une noix ; un autre de cailloux un peu plus gros ; le troisième de sable. La distribution était faite à l'aide d'une coulotte en bois disposée au milieu de chaque lit,

Plan d'ensemble au jardin modèle de la Ville de Paris
à Asnières

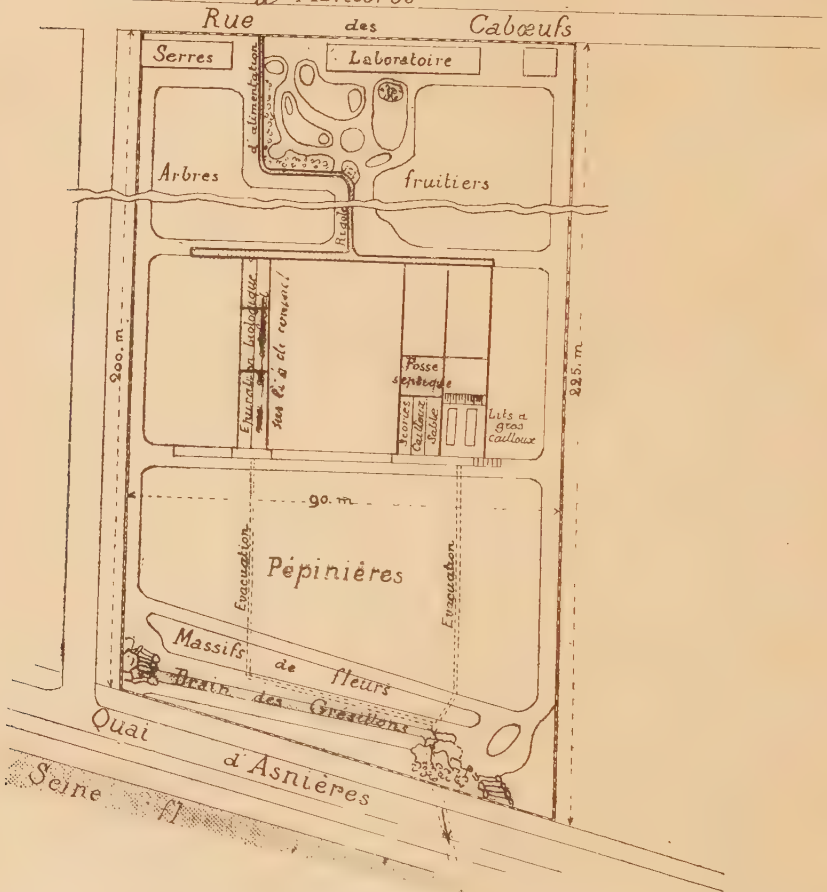


Fig. 6.

dont elle avait la longueur et sur laquelle étaient branchées perpendiculairement, à intervalle de 1 mètre, des coulottes secondaires de 1 mètre de long environ.

De ces coulottes, l'eau se répandait à la surface des lits par déversement. Comme l'expérience avait encore appris à le faire en Angleterre, on mettait une heure pour remplir chaque lit, on le laissait plein pendant deux heures et on réglait l'écoulement de manière à le vider en une heure.

Les analyses consignées dans le tableau suivant établissent que nous avons échoué totalement. A la sortie du *lit à scories* et du *lit à cailloux*, l'eau était noirâtre, odorante, son *coefficient de contamination* était en moyenne de 17. A la sortie du *lit à sable*, l'épuration était toujours plus avancée, mais elle était très notablement inférieure à celle obtenue par *épandage sur sol nu*. Il fallait d'ailleurs chaque deux mois, et quelquefois plus souvent, cesser de le faire fonctionner et en remanier la surface, qui se colmatait malgré la présence de la *fosse septique*.

Quelques jours après la mise en marche, l'eau qui sortait de celle-ci commençait à présenter une couleur noirâtre et une odeur repoussante qui allèrent en s'accroissant. Les corps légers, pailles, matières grasses, flottaient d'abord à sa surface, réunies en écume grisâtre, épaisse de quelques millimètres qui, au moindre souffle de vent se désagrégeait et gagnait le fond.

TRAITEMENT DES EAUX D'ÉGOUT DE PARIS
PAR LA MÉTHODE BIOLOGIQUE SUR LIT DE CONTACT
AVEC FOSSE SEPTIQUE

	Eau sortant de la fosse septique.		Eau sortant des		
	Eau d'égout brute.		Lit à cailloux.	Lit à scories.	Lit à sable.
Matières organiques.	34	29	18	17	7
Ammoniaque.	19	21	17	46	2.5
Azote albuminoïde.	9.5	8	6.2	5.8	1.3
Azote nitreux.	0	0	traces	traces	traces
Azote nitrique.	0	0	traces	traces	18
Bactéries.	»	»	17.520.000	12.000.000	12.000.000
Coefficient de contamination.	26.5	25	17.5	16.5	4.7

Même pendant les plus fortes chaleurs de l'été, nous n'avons jamais constaté ces bouillonnements tumultueux qui se produisent ailleurs avec des eaux très chargées, comme celles que M. le Professeur

Calmette épure à la Madeleine. Les gaz qui les forment étaient composés à Exeter de :

CO ² , Acide carbonique.....	0.3
CH ⁴ , Formène.....	20.3
H, Hydrogène.....	18.2
Az, Azote.....	61.2

Ridéal n'a pas constaté la présence d'hydrogène sulfure.

A peine quelques bulles de gaz venaient-elles crever de temps à autre à la surface. La température de l'eau, prise chaque jour dans le milieu de la fosse, était sensiblement la même que celle de l'air extérieur. Un journal introduit dans la fosse s'y retrouvait intact trois mois plus tard ; il était seulement recouvert de ce dépôt floconneux, noirâtre, non adhérent que nous avons vu se former dans nos flacons bouchés. Des cadavres de rats s'y trouvaient non décomposés après une immersion de trois mois. Notre *fosse septique* ne marchait point.

La pauvreté relative en matières organiques des eaux d'égout parisiennes pouvant en être la cause, on fit pénétrer dans la fosse une grande quantité de boues de la rigole maitresse du **Jardin modèle**. Cet apport ne devait pas modifier la situation ; les dégagements gazeux, indice de la putréfaction des boues, furent aussi peu abondants ; la température persista à être celle de l'air extérieur. Il y avait bien cependant fermentation, puisque l'aspect physique



Fig. 7. — Epuración biológica des eaux d'égout de Paris.
Traitement sur lit de contact après un séjour de 24 heures en fosse septique,

de l'eau s'était modifié; mais nous étions loin d'assister à cette exubérance de vie microbienne que nous avions espérée.

Le mesurage des boues restant dans la fosse ne pouvait nous faire connaître le volume de celles qui se seraient dissoutes, car nous ignorions complètement la quantité qu'on y avait introduite dans le but d'activer la fermentation.

Ces boues étaient noires, elles présentaient l'aspect du cirage et dégageaient, lorsqu'on les retira, une odeur si repoussante que nous avons conseillé de les faire désinfecter au sulfate de fer. Leur analyse nous a montré que desséchées à 180°, elles contenaient par kilogramme 770 grammes de matières minérales, et 230 grammes de matières organiques, c'est-à-dire le quart environ de leur poids de matière putrescibles. Mais de même que nous ignorions la quantité des boues ajoutées comme levain, nous ne savions pas exactement non plus qu'elle était leur composition. Nous savions seulement qu'elles avaient séjourné assez longtemps dans la rigole du **Jardin modèle**, qu'elles s'y étaient accumulées par sédimentation, et qu'elles étaient surtout formées de matières lourdes, insolubles, minérales, imputrescibles. De sorte que le poids des substances organiques restant dans la fosse eut été, sans cette addition, beaucoup plus élevé, par rapport à celui des matières minérales, que ne l'indiquait notre analyse.

L'influence de la *fosse septique* sur la solubilisation des boues était donc peu sensible. Il ne nous semble pas en effet que le *Septic Tank* réalise les conditions les meilleures de destruction des matières organiques. Certes, il serait injuste de dire qu'il n'est que l'hypocrisie des anciennes fosses fixes, et arguer contre lui de la nécessité où l'on est de les vider et de l'impossibilité absolue où l'on serait d'habiter les maisons qui en ont encore, si leur contenu devait se gazéifier comme le veut la théorie du *Septic Tank*. Ces fosses fixes constituent en effet, comme le dit M. le Professeur agrégé Balthazard, un milieu peu favorable au développement des germes de la putréfaction ; et les cadavres des nouveau-nés s'y conservent assez longtemps pour que Tardieu ait pu constater l'existence des ecchymoses sous-pleurales après une immersion de dix mois. La cause en serait probablement due au sulfhydrate d'ammoniaque formé qui agirait comme antiseptique.

Dans la *fosse septique*, cette action microbicide est moins à redouter, car les produits toxiques formés sont entraînés par l'eau que l'on déverse ensuite sur les *lits bactériens* dont ils contrarieront d'ailleurs le bon fonctionnement. En revanche, et sans oublier que les anaérobies sont considérés comme les microbes spécifiques de la putréfaction, nous pensons que l'absence totale d'oxygène dans le *Septic Tank* peut expliquer en partie l'insuccès

de notre fosse. Nos expériences, relatives à l'action des microbes sur les eaux nous ont montré que la disparition des matières organiques et de l'ammoniaque se produisait *beaucoup plus vite en flacons débouchés*, à moitié remplis, qu'en *flacons bouchés*. De plus dans les fosses fixes, *largement aérées*, recevant des eaux grasses et savonneuses, c'est-à-dire des eaux qui contiennent de l'oxygène, la putréfaction des cadavres de nouveaux-nés se produit, nous dit encore M. Balthazard, avec une *grande rapidité* : « Au bout de quelque temps on ne trouve plus que des os dénudés. » On sait aussi que l'accès de l'air, ou du moins de l'oxygène, est une des conditions qui favorise le plus les progrès de la putréfaction ; « c'est pourquoi, dit le docteur Vibert, celle-ci est moins rapide dans l'eau que dans l'air ». De même *les cadavres enterrés se putréfient en général d'autant plus rapidement*, toutes choses égales d'ailleurs, qu'ils sont *moins hermétiquement* renfermés dans des cercueils placés *plus près de la surface* du sol et que celui-ci est *plus poreux*.

L'histoire du cimetière de Saint-Nazaire est sur ce point aussi démonstrative que possible : ce cimetière était installé dans un terrain compact, peu perméable, et les cadavres s'y conservaient indéfiniment. On fit creuser des drains dans ce sol ; ils ne donnaient point d'eau mais ils permettaient la circulation de l'air, et

on constata que la décomposition des cadavres se produisait normalement à partir de ce jour.

Dans les observations de l'abbé Moigno, que nous avons citées à dessein, nous trouvons un argument contre la *fosse septique*, qui n'est assurément qu'une copie de l'appareil de Mouras. Mouras constatait d'une part, que si la *vidangeuse automatique* était fermée, l'eau n'avait pas d'odeur (ce qui était peut-être beaucoup dire), et qu'il n'y avait pas de dégagement gazeux ; et d'autre part, il constatait au contraire que si la *fosse était aérée*, l'eau devenait mal odorante et qu'il se produisait un dégagement gazeux. N'est-ce pas la preuve évidente au possible que l'accès de l'air provoquait dans son appareil une destruction plus rapide des matières fécales, dont l'odeur plus accusée de l'eau et le dégagement gazeux étaient la manifestation ?

Est-ce à dire que la conclusion qu'en tirait Mouras était illogique, qu'il fallait empêcher l'air de pénétrer dans la *vidangeuse* ? Nullement, car la première qualité recherchée dans cet appareil, celle sans laquelle il n'avait aucune raison d'être, car son inventeur en préconisait l'emploi dans l'intérieur des habitations, était la suppression des odeurs.

En donnant à la *vidangeuse* des dimensions assez grandes on pouvait reculer, sinon indéfiniment, au moins à une date très éloignée, le moment où il faudrait la vider.

Le but de la *fosse septique* est tout autre. Elle se propose surtout la liquéfaction des matières putrescibles, la destruction rapide des matières organiques. Aussi nous semble-t-il peu rationnel d'empêcher, par la couche d'eau superposée aux boues, tout accès d'air dans cette fosse, d'en exiler tous ces microbes, aérobies facultatifs, pour lesquels la privation totale d'oxygène est très pénible et dont l'activité se manifeste cependant très grande dans *nos flacons débouchés*, dans les *fosses fixes aérées*, dans les *sols perméables des cimetières*, dans la *fosse Mouras*, lorsqu'elle est aérée.

Nous avons dit que la pratique avait montré en Angleterre, qu'il fallait laisser séjourner l'eau vingt-quatre heures dans le *septic Tank*, pour permettre aux anaérobies d'exécuter leur travail de dissolution et de gazéification. Le commencement d'épuration qui se produit dans ce laps de temps est incontestable, nos analyses nous ont montré ce que nous avons vu dans notre *tube à putréfaction*, qu'il se produisait une diminution de la matière organique et une augmentation de l'ammoniaque pendant le séjour de l'eau dans la fosse. Mais son importance nous paraît bien diminuée par la dissolution, qui s'effectue en même temps, de produits toxiques dans l'eau, dont l'épuration devra être poursuivie sur les *lits bactériens*; elle ne justifie pas, à notre avis, la construction très onéreuse des immenses fosses

qu'il faudrait construire pour y accumuler les eaux d'égout pendant vingt-quatre heures. Si on les y fait séjourner aussi longtemps c'est surtout, c'est presque uniquement pour leur permettre de se décanter, de se débarrasser des matières solides qui, si elles étaient entraînées sur les *lits bactériens*, les mettraient bien vite hors d'usage, ce qui serait la faillite du système. Ce que l'on cherche donc, c'est produire d'abord une action mécanique, une sédimentation et non une action biologique que l'absence totale d'oxygène contrarie comme nous croyons l'avoir établi. C'est pour obtenir cette sédimentation plus complète, pour ne pas détériorer les *lits de contact*, que l'on dispose dans certaines *fosses septiques* des chicanes, dans le but de ralentir le courant. On a prétendu que l'on favorisait à dessein, par cette formation aussi lente que possible du dépôt, l'action des microbes, qui travailleraient davantage dans le calme et le recueillement des couches de boues ainsi lentement formées. Nous croyons au contraire que la liquéfaction des composés organiques est d'autant plus retardée qu'ils sont placés dans une plus complète immobilité.

L'influence du mouvement sur la vie des microbes est encore très mal connue. Paul Bert, Horwath, Cramer, pensaient que le repos favorise la multiplication des germes, tandis que les expériences de Léone lui montraient que le repos et le mouvement

n'exercent aucune action. C'est à cette conclusion qu'est aussi arrivé Gartner. Il stérilisait un liquide, l'ensemait avec une espèce connue, le soumettait à une certaine agitation, recommençait l'expérience sur un liquide semblable et semblablement ensemené qu'il laissait au repos, et il constatait que c'était tantôt le liquide agité tantôt le liquide au repos qui se peuplait le plus vite.

En admettant que la multiplication des microbes soit gênée par le mouvement, en admettant même, avec Wernich, que le mouvement tue les bactéries, il est hors de doute que le mouvement de la masse d'eau qui entraîne un microbe pesant un milliardième de milligramme, lui est, comme le disait M. Duclaux, aussi indifférent que celui de la terre qui emporte la masse d'eau. Nous voyons en effet que les bouillonnements qui se produisent dans la cuve du brasseur et dans celle du vigneron ne nuisent en rien à la fermentation. Dans le cas tout particulier qui nous occupe, nous avons vu que, malgré sa vitesse dans l'émissaire, l'eau d'égout éprouve dans les six heures qu'elle met à aller de Clichy à Triel des fermentations qui la rendent noire et mal odorante. Le repos que l'on impose aux boues de la *fosse septique* ne peut donc point favoriser son travail, il ne peut au contraire que le contrarier.

Personne n'ignore, en effet, qu'un corps se dissout d'autant plus rapidement dans un dissolvant, que

ses surfaces de contact avec lui sont plus fréquemment renouvelées. Dans le *Septic Tank*, les matières organiques sont les corps à dissoudre ; les ferments protéolytiques, les diastases secrétées par le microbe sont le dissolvant. Plus le contact sera intime et renouvelé entre la matière putrescible et le microbe, plus rapide sera sa liquéfaction. L'expérience suivante, dont le résultat ne pouvait être douteux, le prouverait s'il en était besoin.

Dans un cristalliseur, nous avons placé un œuf, privé de sa coquille et dont l'albumine avait été coagulée par la chaleur ; dans un deuxième cristalliseur nous avons placé, taillé en petits cubes de 3 millimètres de côté environ, le blanc d'un second œuf, après l'avoir de même coagulé. Enfin dans un flacon nous avons introduit, coupé en cubes semblables, le blanc d'un autre œuf. Nous avons rempli les deux cristalliseurs et le flacon avec de l'eau d'égout, filtrée au papier de manière à pouvoir surveiller ce qui s'y passerait, et nous avons bouché les trois récipients. Le flacon était agité, une ou deux minutes chaque deux jours ; au contraire les cristalliseurs restaient au repos.

Nous avons constaté que les cubes d'albumine, dès le sixième jour, étaient rongés sur leurs arêtes, percillés sur leurs faces. Au bout d'un mois, ceux du flacon étaient entièrement dissous ; ceux du cristalliseur le furent seulement au bout de six semaines.

Quant à l'albumine de l'œuf introduit en entier et qui offrait à l'action microbienne une surface beaucoup moins étendue, elle n'est pas encore complètement dissoute aujourd'hui ; et il y a quatorze mois que nous avons commencé l'expérience.

Il faut donc admettre que si le ralentissement de la vitesse du courant et l'immobilité des boues facilitent la décantation des eaux, et permettent par suite de les distribuer débarrassées en grande partie des matières insolubles, ce repos des boues nuit à leur dissolution, de même que l'absence totale d'oxygène est un obstacle à leur gazéification. C'est parce que le dépôt formé dans notre *tube à putréfaction* était chaque jour agité, et par suite aéré, au moment où on remplissait ce tube, par l'eau qu'on y versait, que nous avons obtenu une liquéfaction notable des matières organiques.

Nous sommes donc encore ici en face d'une contradiction : Si nous remuons les dépôts pour renouveler les surfaces de contact, si nous augmentons la vitesse du courant, nous hâterons la gazéification, mais notre eau ne sera pas suffisamment décantée, et lorsque nous l'enverrons dans les *lits de contact*, ceux-ci ne tarderont pas à être encrassés, à ne plus pouvoir fonctionner.

Le système du *Septic Tank* qui, pour éviter cet accident maintient les boues dans le repos et donne au courant une vitesse aussi faible que possible et

qui supprime en outre l'action des aérobies facultatifs, action dont nous avons montré l'importance, ne peut donc résoudre, comme on nous l'avait fait espérer, le problème des boues, au moins avec l'égout à système unitaire, comme c'est le cas à Paris.

La *fosse septique* nous apparaît donc comme un bassin dans lequel l'eau d'égout joue le rôle d'un voile, assez répugnant d'ailleurs, qui dissimule cependant à notre vue et à notre odorat les putréfactions plus repoussantes encore, quoique toujours très lentes et très incomplètes, des boues qu'elle recouvre. C'est un bassin de sédimentation qu'il faudra vider, comme on vide les fosses fixes, plus ou moins fréquemment, suivant ses dimensions, suivant la richesse de l'eau en matières insolubles, suivant aussi la quantité de matières minérales, telles que sables, graviers, etc., dont la gazéification est évidemment impossible.

Avec ses imperfections elle reste cependant très utile, pour pratiquer l'épuration sur les *lits bactériens*. Mais il nous semble qu'il serait de beaucoup préférable de la remplacer par une série de *bacs à décantation*, d'où l'eau, clarifiée et ne contenant pas de produits gazeux toxiques (car elle n'y ferait qu'un très court passage), passerait ensuite non sur les *lits de contact* mais sur des *colonnes épuratrices* qui permettent une oxydation beaucoup plus complète. Quant aux boues sédimentées, elles seraient chaque

mois, chaque deux mois (plus souvent ou plus rarement, selon leur volume), évacuées dans un bassin dans lequel on ferait arriver de l'eau épurée déjà, riche en oxygène, riche très vraisemblablement en microbes nitrifiants. On produirait un brassage énergique de la masse, on laisserait déposer, et l'eau ainsi souillée de nouveau, mais beaucoup moins polluée que l'eau d'égout, serait distribuée à très hautes doses, sur une nouvelle *colonne épuratrice* qui servirait également au traitement rapide des eaux d'orage. On répéterait ces brassages à plusieurs reprises, et les boues qui n'auraient pas été détruites, formées alors presque exclusivement de matières minérales, pourraient être sans inconvénient transportées aux décharges. On réaliserait ainsi ces deux conditions, *aération et renouvellement des surfaces de contact*, indispensables à une dissolution rapide des matières organiques et que ne permet pas le fonctionnement du Septic Tank tel qu'on le conçoit aujourd'hui.

EPURATION BIOLOGIQUE

Epuraton sur lits de contact sans fosse septique.

Si le *Septic Tank* de Cameron n'est autre chose que le *vidangeur automatique*, les *Bacteria bed* de Dibdin sont la mise en pratique des prescriptions formulées par la commission de l'Assainissement de la Seine de 1875, dont faisaient partie Pasteur, Sainte-Claire Deville, Würtz, Schlösing. Depuis, les expériences de Hiram Mills à Lawrence, publiées en 1891, avaient montré qu'on peut rendre très active l'épuration par infiltration de l'eau d'égout au travers d'un terrain artificiel, et que, comme sur le sol naturel, cette épuration, c'est-à-dire la nitrification, était impossible par filtration continue, qu'elle exigeait la filtration intermittente.

Le mérite des hygiénistes anglais est d'avoir su transporter sur le terrain de la pratique les expériences du Massachussets, et d'avoir transformé les caisses en bois de Hiram Mills en *lits bactériens* dans lesquels on traite chaque jour des milliers de

mètres cubes d'eau d'égout comme on le fait à Leicester, 36.000 mètres cubes ; Halifax, 113.500 ; Burnley, 11.250 ; Adham, 15.300 mètres cubes, etc. Disons dès maintenant d'ailleurs, que les conditions d'une épuration parfaite, indiquées par la commission de 1875 n'ayant pas toutes été remplies, l'épuration telle qu'on l'obtient jusqu'ici par les *lits de contact* est toujours incomplète, et que le *Local government Board* oblige les villes qui l'emploient à traiter les eaux effluentes de ces lits par un nouveau filtrage sur le sol avant de les rejeter en rivière. Il paraît du reste que la plupart se dispensent de le faire.

Les essais d'épuration des eaux d'égout de Paris par la méthode des *lits de contact*, sans *fosse septique* ont commencé au *Jardin modèle* le 31 mai 1901. C'est la première installation de ce genre qui fut faite en France. Elle comprenait deux séries de trois bassins ou *lits bactériens* étagés en terrasses. Les premiers *lits* avaient 10 mètres de long et 1 mètre de profondeur ; ils furent remplis de scories ou de machefer du volume d'une noix, les deuxièmes *lits* avaient 14 mètres de long et 0 m. 75 de profondeur ; ils étaient remplis de scories du volume d'une grosse noisette. Enfin dans les troisièmes *lits*, dont la longueur était de 15 mètres et la profondeur de 0 m. 75, on plaça des scories du volume d'un noyau de cerise. Chacun des six *lits* avaient une

largeur de 2 m. 40, soit une surface totale de 200 mètres carrés.

Dans chaque *lit*, l'eau était distribuée à l'aide de coulottes en bois semblables à celles employées sur les lits de contact avec *fosse septique*; et un système de vannes manœuvrées à la main permettait de régler le remplissage et la vidange.

Des tuyaux en terre, de dix centimètres de diamètre, disposés sur le radier, en forme d'arêtes de poisson, assuraient le drainage et l'évacuation facile de l'eau.

Comme dans les expériences que nous avons faites au laboratoire, et pour nous conformer à ce qui se pratiquait en Angleterre, on remplissait le premier *lit* en une heure, on y laissait séjourner l'eau pendant deux heures, et on le vidait en une heure. De ce premier bassin, l'eau s'écoulait dans le deuxième *lit* qui se remplissait dans le même temps que le premier se vidait; le contact des scories et de l'eau y était également prolongé pendant deux heures. Du deuxième *lit*, l'eau passait de la même manière dans le troisième. La durée de l'épuration était de neuf heures : trois périodes de plein de deux heures chacune et trois périodes de remplissage et de vidange réalisées en une heure. On pratiquait en effet trois remplissages par vingt-quatre heures et le cube total d'eau épurée était environ de 250 litres par mètre carré superficiel.

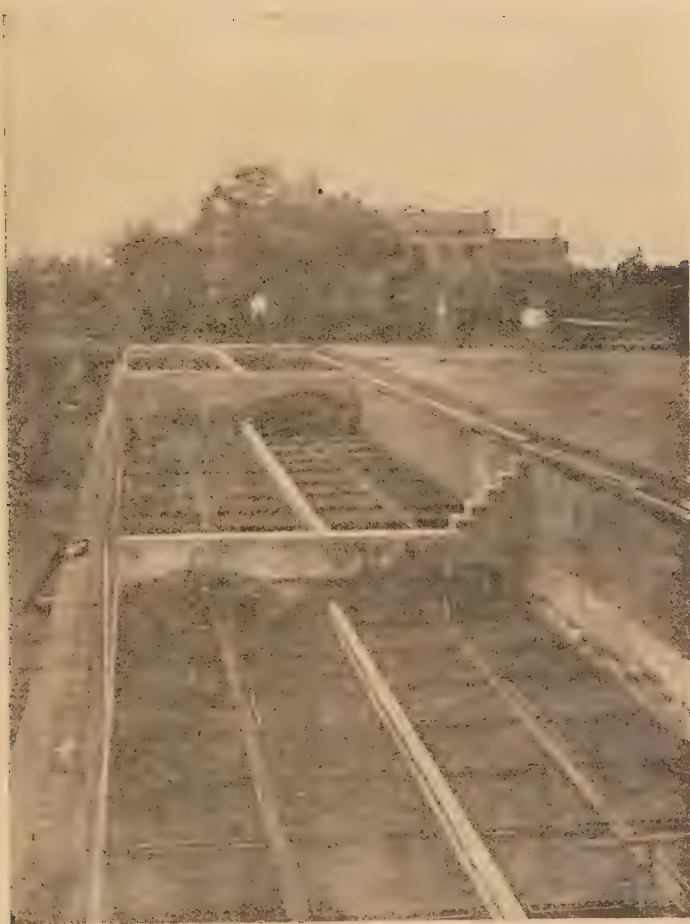


Fig. 8. — Epuration biologique des eaux d'égout de Paris.
Traitement sur trois lits de contact sans séjour en fosse septique.

L'économie du procédé était donc que l'on pouvait traiter une dose d'eau vingt fois supérieure à celle traitée sur les *champs d'épandage* grâce à la circulation facile de l'air entre les scories. Il est vrai que l'épuration en revanche était loin d'être aussi complète.

Le mécanisme de l'épuration était le même et elle se résume aussi en une gazéification du carbone en acide carbonique et une nitrification de l'azote. Il se passe dans les lits de contact ce que Brunner avait le premier constaté dans le sol : la fixation sur les scories des éléments organiques pour lesquels elles ont un pouvoir sélectif. La comparaison qu'employait M. Duclaux, pour montrer ce pouvoir absorbant de certains corps poreux, fait bien voir comment les choses se passent :

« Une goutte de vin qui tombe sur une nappe donne deux cercles concentriques d'une remarquable netteté, dont les diamètres sont toujours dans le même rapport l'un par rapport à l'autre tant qu'on ne change que le volume de la goutte qui tombe. Le cercle intérieur est seul coloré, cela témoigne que la matière du corps absorbant retient plus activement la matière colorante que l'eau. »

Dans les *lits de contact*, il y a, de même, fixation des matières organiques et des ammoniacques malgré l'extrême solubilité de ces composés. Par action capillaire, les microbes de l'eau sont aussi

retenus sur ces scories et si dans l'eau qui sort des *lits* après l'épuration, nous retrouvons des matières organiques, des ammoniacques, des microbes, c'est qu'on n'a pas su utiliser ce pouvoir absorbant de la masse poreuse qui forme ces *lits*.

L'eau d'égout introduite dans les *lits* y abandonne donc une plus ou moins grande quantité de composés organiques et de germes microbiens. Ceux-ci, dans la période de remplissage, pendant celle d'évacuation, vont consommer ces diverses substances avec une énergie d'autant plus grande qu'ils sont placés dans de meilleures conditions de vie, c'est-à-dire qu'ils auront à leur disposition une plus grande quantité d'oxygène. Ce sont en effet des aérobies que l'on cherche avec raison à acclimater dans les *lits de contact*, et parmi eux les plus actifs seraient les microbes nitrifiants de Winogradsky, les *ferments nitreux et nitriques* dont les recherches de Boulanger ont montré qu'ils pouvaient, grâce à un phénomène de symbiose, se développer sur milieu organique.

Les périodes de contact, de plein, seront celles où l'oxygène sera le moins abondant, les scories étant baignées dans une eau très pauvre en oxygène dissous, dans le premier lit surtout. Pendant les périodes de remplissage, et surtout pendant celles de repos, de vide, l'air circulera abondamment et grâce à lui les microbes aérobies pourront brûler la matière

organique, nitrifier les ammoniacques et peut-être directement l'azote des matières azotées.

C'est donc dans cette période dite de vide, de repos, que l'activité du lit est le plus intense. Les nitrates formés de la sorte n'étant pas absorbés par les scories se dissoudront dans l'eau du remplissage suivant et nous les retrouverons dans l'effluent. Il peut donc n'y avoir, dans une eau épurée, aucun rapport entre la quantité des nitrates formés et celle de l'ammoniaque disparue, les nitrates provenant de l'oxydation des composés azotés introduits dans les *lits* par des remplissages antérieurs. C'est ce qui se produit lorsqu'on laisse en repos pendant plusieurs jours un *lit bactérien*. Lorsqu'on recommence à le mettre en service, l'eau effluente sera toujours riche en nitrates et l'épuration de cette eau pourra cependant n'être que très peu avancée, elle pourra contenir des quantités importantes de matières organiques et d'ammoniacques. La présence d'une quantité élevée de nitrates, dans une eau traitée dans les *lits de contact*, ne permet donc nullement de préjuger en quoi que ce soit de l'importance de leur pouvoir épurateur.

Le fonctionnement de nos *lits de contact* nous a fait voir que la maturité du filtre, c'est-à-dire, le moment où il est en pleine activité, ne se produit pas dès le début de la mise en marche. Il faut, comme l'avait dit Schloesing, donner le temps aux matières filtrantes de se peupler de microbes aérobies. Nous

voyons dans le tableau suivant que la nitrification, à peu près nulle le 31 mai 1901, le premier jour des expériences augmentait peu à peu et qu'elle était aussi complète qu'elle devait l'être plus tard, dès le 11 juillet suivant, c'est-à-dire après sept semaines de fonctionnement. On constate aussi, ce qui paraît être au premier abord une contradiction, que l'ammoniaque disparaît beaucoup plus vite. Si elle ne se retrouve plus dans l'eau épurée, elle n'a pas disparu pour cela : les scories l'ont fixée ; et lorsque les microbes aérobies ont été assez nombreux, ils l'ont oxydée et nous la retrouvons alors sous forme de nitrates. Nous voyons encore que la matière organique disparaît plus lentement et moins complètement, et que toujours il en reste une certaine quantité, 5 à 6 milligrammes par litre.

Ce chiffre est précisément le même que celui trouvé dans nos *tubes*, que celui trouvé aussi dans les *flacons* où nous laissions l'eau d'égout s'*autopurifier spontanément*. On dirait qu'il y a dans ces eaux une sorte de noyau de matière organique, plus solide, plus condensé, plus résistant aux influences microbiennes. Celui-ci ne saurait cependant survivre à l'attaque de bactéries plus énergiques, mieux entraînées que ne le sont celles des *lits de contact* et nous allons voir que dans notre *colonne épuratrice* nous réussissons à le détruire.

TRAITEMENT DES EAUX D'ÉGOUT DE PARIS PAR LA MÉTHODE
BIOLOGIQUE SUR LITS DE CONTACT
SANS FOSSE SEPTIQUE

Eau sortant du 3^e lit, une heure après l'ouverture :

	Matières organiques.	Ammo- niaque.	Azote organique.	Nitrates.
31 mai 1901...	10,5	22	1,9	traces
5 juin.....	7	14	2,1	6
13 —	5,6	8	1,5	8
17 —	4,4	5	1,7	5,8
20 —	5,7	6	1,8	5,4
25 —	6,2	2,7	1,2	6,4
27 —	5,3	2	0,7	10,5
4 juillet.....	5,6	2,5	0,6	23
8 —	6	2,8	0,8	21
11 —	4,6	1,5	0,6	33
15 —	4	1,2	»	30
16 —	3	0,5	»	32
23 septembre..	5,3	1,2	»	38
15 octobre....	5,9	1,2	»	29,5
22 —	6,4	2,3	»	36
14 novembre..	4	2,4	»	23
20 —	3,7	1,8	»	31
10 décembre..	5,7	1	»	22
18 —	6,8	6,5	»	24
13 janv. 1902..	7,4	1,6	»	63
5 février.....	5	1,8	»	49

L'aspect physique de cette eau recueillie au sortir du *troisième lit* est satisfaisant. Sans être d'une limpidité absolue, elle est toujours d'une clarté parfaite. Elle présente cependant une certaine opa-

lescence, semblable à celle que nous avons constatée dans nos flacons bouchés. Cette opalescence disparaît *vite*, en vingt-quatre heures quelquefois, si on laisse l'eau *exposée largement à l'air*; plus *lentement*, en quatre ou cinq jours, à *l'abri de l'air*.

Le nombre des germes microbiens, très sensiblement inférieur à celui de l'eau d'égout, permet d'établir ces pourcentages prestigieux d'épuration à 90, à 95, à 99 p. 100, qui ne nous apprennent rien du *pouvoir de contamination* de l'eau épurée, ce qui est précisément la chose importante de l'épuration.

Ces bactéries se retrouvaient à la sortie du troisième *lit de contact* en nombre assez variable mais toujours élevé, allant de 400.000 à 800.000

Quant au *coefficient de contamination* d'après les analyses du tableau précédent, il serait en moyenne de $\frac{5 + 2}{2} = 3,5$. Quoiqu'il ne soit pas égal à l'unité, c'est-à-dire quoique l'épuration ne soit pas totale il est bien possible que le déversement d'une eau semblable dans une rivière dont le débit serait assez grand ne présente pas de graves inconvénients.

Malheureusement les résultats que nous venons d'indiquer ne sont pas en réalité aussi magnifiques qu'ils le paraissent. Il faut bien savoir que l'eau épurée dans les *lits de contact* ne présente jamais

une composition homogène. Au moment où l'on vide le *lit*, après le contact régulier de deux heures, l'eau s'écoule à plein tuyau, en jet puissant, et cela au moins pendant un quart d'heure. L'eau qui sort du bassin pendant ce temps représente une portion notable de celle que l'on voulait épurer. C'est celle qui se trouvait dans les tuyaux de drainage, dans les vides laissés entre les scories, le radier et les parois du bassin ; c'est celle qui était restée dans les poches formées entre les scories elles-mêmes. Cette eau n'était donc pas en contact avec les microbes fixés à la surface et dans les pores des scories, elle a par suite échappé à leur action ; elle n'a pas abandonné au support d'oxydation son ammoniacque, ses matières organiques. On retrouve précisément ces substances beaucoup plus abondantes dans les premières eaux qui sortent des *lits de contact* et dont le volume comme nous venons de le dire, n'est point négligeable.

A la sortie du troisième *lit de contact*, ces eaux de premier jet contiennent toujours 4-5 milligrammes d'ammoniacque, et nous y avons fréquemment constaté la présence de *nitrites*, ce qui prouvait bien que l'épuration n'était point terminée.

Un peu plus tard, l'écoulement se fait sous forme d'un filet de plus en plus mince ; enfin dans la dernière demi-heure qui suit l'ouverture du bassin on n'a plus qu'un simple ruissellement. C'est à ce moment, une

heure après l'ouverture du lit, c'est-à-dire au moment où théoriquement il devrait être vide, que nous faisons les prélèvements d'échantillons dont le tableau précédent indique l'analyse. Les résultats auraient été meilleurs si nous avions attendu une heure encore pour faire ces prélèvements, car la masse des scories est une véritable éponge qui dégorge très lentement l'eau qu'elle a absorbée. Ces eaux de dernier ruissellement ont un aspect et une composition chimique tout différents de celles du premier jet. Elles sont toujours absolument limpides, *nullement opalescentes*; elles ne contiennent plus d'ammoniaque, les nitrates y sont plus abondants; la matière organique a diminué elle-même, mais il en reste toujours. Ces eaux sont vraiment presque totalement épurées; malheureusement elles ne représentent qu'une portion infime de l'eau introduite dans les *lits de contact*.

C'est là une constatation intéressante, car on peut être conduit à porter un jugement complètement erroné sur la valeur épurative d'un *lit bactérien de contact*, si on ignore le moment précis où le prélèvement de l'eau analysée a été effectué. On ne peut donc se contenter dans un bulletin d'analyse d'indiquer seulement le volume de l'eau épurée et sa composition; il est indispensable de dire en outre si le prélèvement a été fait au moment de l'ouverture du *lit de contact* ou plus tard; et encore, malgré cette

indication, ne serons-nous qu'imparfaitement renseignés sur la composition moyenne de l'effluent.

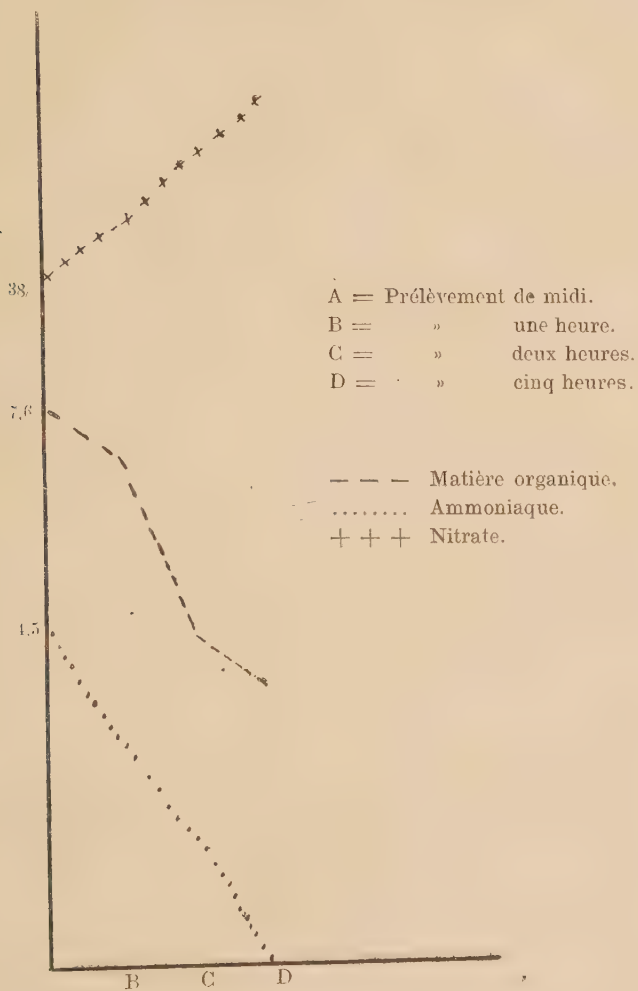
Ces différences de composition sont indiquées dans le tableau suivant.

TRAITEMENT DES EAUX D'ÉGOUT DE PARIS
PAR LA MÉTHODE BIOLOGIQUE SUR LITS DE CONTACT

Variation de la composition chimique de l'effluent aux divers moments de la vidange.

Eau sortant du troisième lit de contact.			
		à midi.	à 1 heure. à 2 heures.
20 avril 1901 :			
Matière organique.....	12	5,7	5,8
Ammoniaque.....	9	6	traces.
Nitrates.....	traces.	5,4	8,7
16 juillet 1901 :			
Matière organique.....	6	5,3	
Ammoniaque.....	4	0,5	
Nitrates.....	18	28	
29 juillet 1901 :			
Matière organique.....	7	5,3	3,8
Ammoniaque.....	5	0,9	0
Nitrates.....	16	35	41
Eau sortant du 2 ^e lit de contact.			
		Au moment de l'ouverture du lit.	1 heure après l'ouverture du lit.
29 juillet 1901 :			
Matière organique.....	19		8,5
Ammoniaque.....	13		7
Nitrites.....	traces		traces
Nitrates.....	9		17

Fig. 9.— Variations de l'effluent aux divers moments de la vidange.



EAU SORTANT DU TROISIÈME LIT DE CONTACT

	à midi.	à 1 heure.	à 2 heures.	à 5 heures.
8 novembre 1901 :				
Matière organique.	7,6	7	4,5	3,8
Ammoniaque.....	4,5	3	1,8	0
Nitrates.....	38	45	51	63

L'épuration se poursuit progressivement dans chacun des *trois lits* et le tableau suivant nous montre qu'on ne peut se contenter de *deux lits de contact* et que le troisième est absolument indispensable.

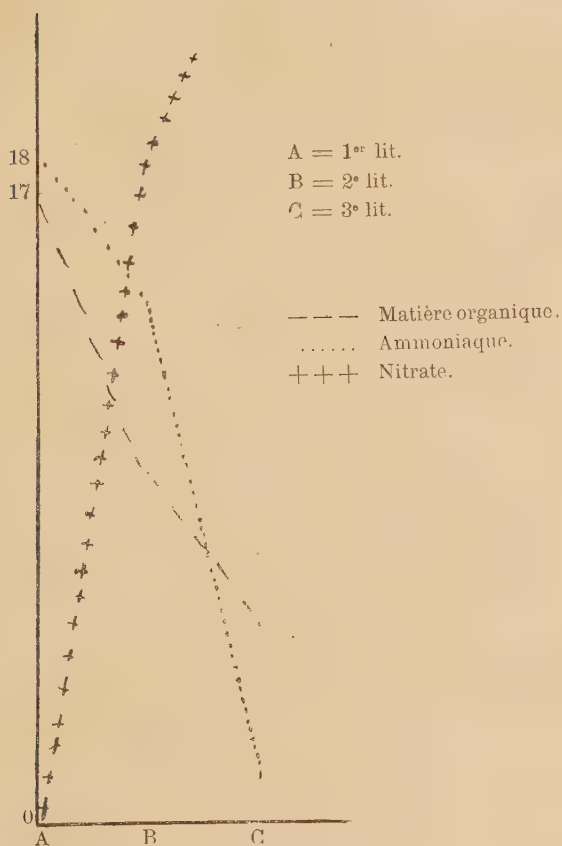
TRAITEMENT DES EAUX D'ÉGOUT DE PARIS
PAR LA MÉTHODE BIOLOGIQUE SUR LITS DE CONTACT

Progrès de l'épuration dans chacun des 3 lits.

Eau prélevée 10 minutes après l'ouverture des lits.			
	1 ^{er} lit.	2 ^e lit.	3 ^e lit.
29 juillet 1901 :			
Matière organique.....	22	19	7
Ammoniaque.....	17	13	5
Nitrates	0	9	16
Eau prélevée 1 heure après l'ouverture des lits.			
25 août 1901 :			
Matière organique.....	17	8,9	5,3
Ammoniaque	18	14	1,2
Nitrates	0	18	38

Dans ces *lits de contact*, la nitrification n'a pas été impressionnée par les froids de l'hiver. C'est pourtant pendant le mois de Décembre que l'eau épurée aurait contenu le moins de nitrates : 22 milligrammes alors que depuis le mois de juillet, la moyenne était

Fig. 10. — Progrès de l'épuration dans chacun des trois lits de contact.



de 30. Malgré cette diminution des nitrates, peu sensible du reste, la quantité d'ammoniaque n'a pas augmenté, le pouvoir électif des scories pour cet élément, qui n'est qu'une *action physique*, était resté le même ; seule l'action des ferments minéralisateurs, *action biologique*, avait été un peu ralentie.

L'influence du froid sur le fonctionnement des *lits de contact* n'est pas négligeable cependant. Si les couches profondes sont peu sensibles aux changements de température, il n'en est pas de même des couches superficielles. Lorsque le thermomètre descend à -5° ou -8° , malgré la concentration de l'eau d'égout et quoique sa température soit toujours supérieure à celle de l'air, l'eau qui reste exposée à ces froids pendant deux heures se congèle ; et sur une épaisseur de 8 à 10 centimètres, le premier lit de *contact* est transformé en un bloc de glace, il est donc mis hors d'usage jusqu'au dégel. A Asnières, où les grands froids durent peu, on a été obligé chaque année, depuis six ans, de suspendre pendant plusieurs jours les expériences d'épuration bactérienne. L'inconvénient serait autrement grave dans les localités où ces températures de -10° se produisent fréquemment, comme il arrive dans les régions froides de la France. Il paraît qu'en Angleterre les températures les plus basses n'apportent aucune gêne à l'épuration par les *lits de contact*. Nous ne comprenons pas très bien cependant, comment il est possible de

se conformer à la règle si rigoureusement imposée de procéder, en une heure, au remplissage d'un bassin surmonté d'une épaisse couche de glace.

Ce n'est là, d'ailleurs, qu'un des moindres inconvénients des *lits de contact* sans *fosse septique*. Il en est un autrement grave, dû au colmatage qui s'établit à la surface du premier *lit*. Deux mois environ après la mise en marche, nous nous sommes aperçu que celui-ci se recouvrait d'une sorte de feutrage formé de poils, de pailles de crottins, de fibres de bois des pavés, de fragments de papier agglutinés au sable des rues, aux substances insolubles que l'eau tenait en suspension. C'est un semblable dépôt qui se forme dans les raies des champs d'épandage ; mais là il est bien moins gênant, parce qu'il se disloque avec les alternatives de sécheresse et d'humidité et s'incorpore rapidement au sol. Dans les *lits de contact*, il augmentait rapidement et au bout de trois mois il formait une couenne épaisse de 3 à 4 centimètres, presque imperméable et qui empêchait l'eau de pénétrer dans l'intérieur du lit. Celui-ci était donc encore hors de service. Mais déjà, au fur et à mesure que ce colmatage se produisait, l'air ne pénétrait dans le premier *lit* qu'avec la plus extrême difficulté, et peu à peu il se transformait en *fosse septique*. L'eau à la sortie de ce premier *lit* devenait grisâtre, presque noire ; son odeur s'accusait chaque jour davantage, l'ammoniaque ne disparaissait plus,

la nitrification était absolument nulle. Il fallait donc cesser les irrigations, laisser le dépôt se dessécher au moins pendant quarante-huit heures et le retirer.

Bietôt le colmatage ne se formait plus seulement à la surface, il gagnait l'intérieur du *lit* dont la capacité liquide était ainsi très notablement diminuée. Une tranchée que l'on y fit creuser montra que les scories étaient entourées comme d'une sorte de gangue qui en bouchait tous les pores et s'opposait à toute épuration.

Le défaut d'homogénéité de l'eau épurée, la teneur très élevée en germes bactériens, l'action du froid et surtout la formation d'un colmatage semblaient donc s'opposer à l'adoption de *lits de contact* sans *fosse septique*. Et on comprend comment Dibdin ne pouvait se passer de celle de Cameron.

On peut cependant tourner la difficulté en superposant aux scories du premier *lit* une couche de sable de 20 centimètres d'épaisseur qui, agissant mécaniquement, retient tout ce dépôt et l'empêche de pénétrer dans l'intérieur du *lit* où il allait encrasser les scories. Ce dispositif fut adopté sur un de nos deux premiers *lits*, en mars 1903, et il donna de bons résultats. L'eau à la sortie du premier *lit* était mieux épurée qu'elle ne l'était à la sortie de l'ancien deuxième *lit de contact*, mais l'effluent final sortant du troisième *lit*, contenait encore 3, 4 milligrammes

de matière organique et de petites quantités d'ammoniaque.

L'épuration n'était pas encore complète.

ÉPURATION DES EAUX D'ÉGOÛT DE PARIS
PAR LA MÉTHODE BIOLOGIQUE SUR LITS DE CONTACT DE
COMPOSITION MIXTE : SABLE-SCORIES

Eau sortant du premier lit.			
1 heure après l'ouverture.			
	Matière organique	Ammoniaque	Nitrates
11 janvier 1903.	8,6	3,8	29,5
11 février	8	4,9	28
10 mars	6,8	3,6	22
10 avril	7,6	2,8	43
29 juin	7	2,4	38
10 minutes après l'ouverture.			
	Matière organique	Ammoniaque	Nitrates
16 juillet	40,7	6	27
27 juillet	40	5,9	24

L'inconvénient résultant de l'action du froid existait toujours ; et pendant les grands froids de l'hiver, le remplissage de ce *lit* devenait impossible. De plus le pouvoir absorbant du sable étant limité, la pénétration de l'eau s'effectuait bientôt avec beaucoup de peine ; on voyait se former de petites mares à la surface, et chaque deux mois environ, il fallait cesser pendant deux ou trois jours les irrigations et remanier le sable dans lequel on incorporait le dépôt.

Malgré ces périodes inévitables de chômage il nous, semble que ce système de *lits mixtes à scories-sable*, est préférable à l'emploi de la *fosse septique* fonctionnant simplement comme bassin de décan-tation, car il permet de supprimer les boues en les incorporant à la couche superficielle de sable super-posé aux scories.

Le défaut d'homogénéité de l'eau épurée dans les lits de contact, que le premier *lit* ait été ou non sur-monté d'une couche de sable, n'était pas dû à ce que l'ouverture des *lits* se faisait à la main. Il existe un certain nombre d'appareils qui permettent de remplir et de vider automatiquement les *lits bac-tériens* aux heures et dans le temps voulu : on a donc de la sorte un débit régulier, c'est-à-dire que les périodes de premier jet, de filet, de ruissellement, ne se produisent pas de façon aussi apparente. Tou-tefois, même avec ces appareils distributeurs, on ne peut réussir à évacuer en une heure toute la masse d'eau que les scories avaient absorbée. Celles-ci s'égoutteront donc, alors que théoriquement elles devraient être asséchées et l'eau qui sort du bassin est à ce moment absolument claire, limpide, presque totalement épurée. On serait donc exposé à commet-tre l'erreur que nous avons signalée, si on considé-rerait ces eaux comme provenant d'un échantillon moyen. Toutefois, si par l'appareil automatique l'éva-cuation s'effectue plus régulièrement qu'avec une

vanne manœuvrée à la main, les causes qui avaient produit ce défaut d'homogénéité de l'eau effluente, si apparent dans les premiers moments de la vidange, persistent toujours. Les scories de la surface sont, en effet, habitées par des espèces plus robustes, plus vivaces, puisqu'elles disposent d'une plus grande quantité d'oxygène, l'aération y étant évidemment plus abondante que dans les parties profondes. Si à l'aide d'une pipette on prélève de l'eau à la surface même du lit, on constate qu'elle a une composition bien différente de celle de la profondeur. Or ce sont précisément ces eaux superficielles qui s'écoulent les dernières et qui présentent, nous le savons, une épuration beaucoup plus avancée. L'épuration ne s'effectue donc pas de façon uniforme dans les *lits de contact* et c'est ce qui explique encore pourquoi les eaux épurées ne présentent pas une composition identique à chaque instant de la vidange.

TRAITEMENT DES EAUX D'ÉGOUT DE PARIS
PAR LA MÉTHODE BIOLOGIQUE SUR LITS DE CONTACT

Variations de l'épuration dans les divers étages des lits de contact.

Deuxième lit.		
	Eau de surface	Eau de profondeur
2 août 1901 :		
Matière organique	8	11
Ammoniaque	6,5	10
Nitrates.	10,8	5,8
Coefficient de contamination...	7,2	10,5

Deuxième Lit.		
	Eau de surface	Eau de profondeur
6 août 1901 :		
Matière organique.....	10,5	12,8
Ammoniaque	8,5	11
Nitrates.....	25	20
Coefficient de contamination...	9,5	11,9
Troisième lit.		
6 avril 1901 :		
Matière organique	6	8
Ammoniaque.....	1,7	4,5
Nitrates.....	49	38
Coefficient de contamination...	3,8	6,2

Il y a donc une différence sensible entre l'eau de surface et celle de la profondeur. Cette différence persiste pendant toute la durée du séjour de l'eau dans le lit de contact. Elle ne s'accroît pas, elle ne diminue pas, elle reste pour ainsi dire constante. Si on prélève de l'eau à la surface des scories, à divers moments de la période de plein, on ne constate pas qu'il se soit produit de modifications bien nettes. C'est la preuve très évidente que cette période de plein est aussi celle d'inactivité si paradoxale que la chose paraisse.

TRAITEMENT DES EAUX D'ÉGOUT DE PARIS
PAR LA MÉTHODE BIOLOGIQUE SUR LITS DE CONTACT
Arrêt de l'épuration pendant la période de « plein ».

Deuxième lit de contact.

Eau prélevée à 10 centimètres de la surface des lits à :
2 août 1901.

	3 heures.	4 heures.	5 heures.
Matière organique	9	8	8
Ammoniaque	7	6	6.5
Nitrates	11	12	10.8

Pendant la période d'évacuation, au contraire, l'eau subit des changements très importants. Ils peuvent être si considérables, que l'eau recueillie 48 heures après l'ouverture du premier lit est quelquefois aussi limpide, aussi claire que l'eau qui s'écoule à la sortie du troisième lit, dix minutes après l'ouverture de ce dernier, et que la composition chimique de ces deux eaux est à peu près la même.

TRAITEMENT DES EAUX D'ÉGOUT DE PARIS.
PAR LA MÉTHODE BIOLOGIQUE SUR LITS DE CONTACT
Progrès considérables de l'épuration pendant la « période de vidange ».

Premier lit de contact :

25 août 1901 :

	Matière organique.	Ammo- niaque.	Nitrates.
Eau prélevée 1 heure après l'ouverture.....	17	18	0
Coefficient de contamination :	17.5.		
7 octobre 1901 :			
Eau prélevée 48 heures après l'ouverture.....	3.9	0	26
Coefficient de contamination :	1.9.		

Aussi un contact de deux heures dans chaque *lit* est-il sinon nuisible, du moins bien inutile avec les eaux d'égout parisiennes. Nous avons pu, sans nuire à l'épuration, comme nous avons pu le faire dans nos tubes, diminuer de moitié ce contact, c'est-à-dire ne laisser séjourner l'eau dans chaque lit que pendant une heure seulement.

TRAITEMENT DES EAUX D'ÉGOUT DE PARIS
PAR LA MÉTHODE BIOLOGIQUE SUR LITS DE CONTACT

Indifférence de la durée du contact sur l'épuration.
Troisième lit de contact.

Eau prélevée une demi-heure après l'ouverture.		
23 juillet 1901.		
	Durée du contact. 1 heure.	Durée du contact. 2 heures.
Matière organique.....	5	5.5
Ammoniaque	2.2	2
Nitrates.....	33	35
Coefficient de contamination..	3.6	3.7

En résumé, le fonctionnement des *lits de contact* nous a montré (sans tenir compte de la question du froid et de celle du colmatage) qu'il ne se produit pas de modifications très notables pendant la période de plein, qu'il s'en produit au contraire pendant la période d'évacuation, surtout lorsque celle-ci a lieu

très lentement, lorsque l'eau s'écoule en ruisselets. Nous étions donc amené logiquement à distribuer l'eau sur les *lits bactériens* de façon continue, à supprimer ces périodes de contact, de repos, dont la durée était invariablement et illogiquement les mêmes, quels que fussent et le volume des scories et la composition de l'eau, et qu'il fallait observer avec une ponctualité toute militaire.

Avec cette suppression des *lits de contact*, un danger était à redouter. Nous savions en effet que sur sol naturel l'épuration par écoulement continu était impossible, parce que l'oxydation n'était pas suffisante, et nous avions constaté d'autre part que dans le *lit de contact* l'épuration ne s'effectue point de la même manière à chaque étage du *lit*, les couches supérieures étant mieux aérées que celles du fond. Si nous supprimions les périodes de contact et par suite les périodes de repos, de vide, pourrions-nous offrir aux microbes aérobies de nos scories la quantité d'oxygène qui leur est indispensable pour assurer une minéralisation, une épuration convenable ? Pourrions-nous réussir à faire de l'épuration avec écoulement continu, absolument continu, de jour et de nuit ?

Dans l'année 1904, des expériences nouvelles furent dirigées dans ce sens.

On utilisa deux des *lits* de premier et de deuxième contact dans l'état où ils se trouvaient. Les scories

du premier étaient depuis deux ans recouvertes de la couche de sable qu'on y avait disposé pour en supprimer le colmatage; et depuis le 31 mai 1901, ce sol artificiel n'avait cessé d'être irrigué. On modifia seulement le mode de distribution de l'eau. Pour le premier *lit*, on adopta un système de coulottes disposées transversalement et distantes les unes des autres de 0 m. 40 environ. Par déversement, elles produisaient une répartition sinon parfaite, du moins assez convenable dans toute la masse du *lit*. Dans le deuxième, les coulottes furent disposées en éventail, ce qui ne constitue pas non plus un procédé de distribution bien uniforme, car il est évident que les scories placées au centre de l'éventail reçoivent beaucoup plus d'eau que celles qui se trouvent à la périphérie. Depuis la fin de l'année 1904 jusqu'à aujourd'hui, on a pratiqué, sur ce sol artificiel, de l'épuration par écoulement continu, absolument continu, sans arrêt de jour ni de nuit, en distribuant 220 litres par jour et par mètre carré superficiel, soit un cube correspondant à 800.000 mètres cubes par hectare-an.

Dans deux autres *lits* semblables, et qui avaient également servi pendant plus de trois ans comme *lits de contact*, les irrigations furent faites de façon différente, mais toujours à la même dose. Au lieu de distribuer l'eau pendant 24 heures de suite, de façon continue, on ne produisit l'écoulement que pendant

12 heures seulement. Les microbes épurateurs étaient donc placés dans des conditions différentes de travail ; ils avaient à épurer la même quantité d'eau, mais ils devaient le faire deux fois plus vite ; en revanche, on les laissait se reposer pendant la moitié de la journée. Ce n'était plus là le *lit de contact*, puisque l'eau circulait sans arrêt dans le bassin, ce n'était pas non plus l'épuration continue. Le but de l'expérience était de savoir s'il vaut mieux faire de l'épuration continue, ou de l'épuration mixte avec période de repos, le cube d'eau à épurer restant le même.

L'expérience fut absolument concluante. Toujours, au point de vue chimique comme au point de vue physique, l'épuration s'est montrée de beaucoup supérieure quand on fait de l'écoulement continu. A la sortie du deuxième *lit*, l'eau était aussi épurée qu'elle l'était à la sortie des troisièmes anciens lits de contact, 40 minutes après l'ouverture de ces lits.

TRAITEMENT DES EAUX D'ÉGOUT DE PARIS
PAR ÉCOULEMENT CONTINU, ABSOLUMENT CONTINU, DE JOUR ET DE NUIT
SUR LITS MIXTES DE SABLE-SCORIES.

Eau sortant du deuxième lit.						
Epuración continue			Epuración discontinue			
	Matières organiques	Amm.	Nitrates	Matières organiques	Ammo- niaque	Nitrates
17 janvier 1905...	7	7	30	12.4	8.5	22
25 janvier 1905...	8	4.7	35	10.2	8.5	28
1 ^{er} avril 1905.....	5	0	48	8.2	4	32
4 mai 1905.....	6.5	2.5	»	9	5	»
26 juillet 1905...	8	5	58	11	8.4	18

De plus, l'eau ainsi épurée avait une composition absolument homogène, mais elle contenait toujours un nombre élevé de bactéries, dont le bacille coli. Les poissons rouges y vivaient à leur aise, quoique son **coefficient de contamination** ne fût pas égal à l'unité. Cette possibilité de vivre dans une eau incomplètement épurée montre bien, comme nous avons eu l'occasion de le dire, que le poisson rouge est un très mauvais réactif pour nous faire juger de la qualité d'une eau.

A plusieurs reprises, on mit un lot de ces poissons dans le drain qui coule à l'extrémité du **Jardin modèle** et qui est alimenté par l'eau claire, limpide, fraîche, provenant de l'épuration de l'eau d'égout par épandage sur le sol, eau à laquelle ont goûté

sans répugnance les nombreux visiteurs du **Jardin**, quoiqu'ils l'eussent déjà bue une première fois à Paris. Dans cette eau qui est potable, dont on boit à Genttevilliers depuis plus de trente ans, les poissons rouges mouraient rapidement. Dans l'eau sortant du deuxième lit *bactérien*, à écoulement continu, ils vivaient au contraire très bien.

Comme l'eau circulait continuellement dans l'intérieur de la masse des scories, l'action du froid, qui nous obligeait à cesser les irrigations sur les *lits de contact*, ne se produisait pas ici, du moins pas de la même manière. L'eau se congelait bien avec la température de -10° , mais seulement dans les couloirs de distribution ; et comme la couche de glace y était très mince, la coulotte elle-même étant profonde seulement de 4 à 5 centimètres, l'eau d'égout sortant des bouches de distribution et qui avait par conséquent une température voisine de $+4$ à $+6^{\circ}$, la faisait fondre assez rapidement.

Le système de l'**épuration continue** sur *lit bactérien* surmonté d'une couche de sable, présentait cependant un très gros inconvénient, celui que nous avons indiqué pour les *lits de contact*. La couche de sable se colmatait peu à peu ; l'air pénétrait alors difficilement, et l'épuration devenait sensiblement moins bonne. Il fallait donc, chaque deux mois, sus-

pendre encore les irrigations pendant plusieurs jours.

On voit qu'avec ce *sol artificiel*, construit dans des bassins en maçonnerie, l'épuration par *écoulement continu, absolument continu*, est pratiquement difficile à réaliser, le colmatage du sable empêchant à la longue l'accès de l'air et rendant même difficile la pénétration de l'eau dans l'intérieur du bassin. L'emploi de la *fosse septique* supprimerait ce colmatage, et ce serait à cette solution que nous nous arrêterions, en transformant toutefois la *fosse septique* en *bacs à décantation*, si nous n'avions un autre moyen plus rapide et moins coûteux d'assurer une épuration plus complète, par écoulement continu, absolument continu.

EPURATION MÉCANO-BIOLOGIQUE

Traitement des eaux d'égout sur colonne épuratrice.

Dans son rapport de mission, publié dans les premiers jours de 1901, M. l'ingénieur Launay signalait les essais d'épuration avec *écoulement continu* sur lit *bactérien*, par le système de Withaker et celui du colonel Ducat.

Avec le premier, on obtenait au début un effluent très clair et très pur ; puis après un certain temps, l'eau devint trouble. D'après le rapport de M. Launay, la durée de l'épuration était seulement de 15 minutes ; celle-ci n'était que très sommaire, et l'eau épurée contenait encore le tiers de l'ammoniaque qui se trouvait dans l'eau d'égout.

Le système Ducat, expérimenté à Knostrop et à Leeds, était basé sur la *filtration continue avec chauffage*, pour faciliter l'action des bactéries en maintenant une température convenable. L'appareil, qui avait 40 mètres carrés et 3 mètres de haut, était

abrité sous un toit de chaume. Ses parois étaient constituées par des conduites de drainage inclinées vers le haut, de l'intérieur à l'extérieur. Malgré tout ce luxe de précautions et de complications, les analyses données par M. Launay montrent que l'épuration était assez peu avancée : alors que l'eau d'égout contenait 2 gr. 88 d'ammoniaque par *gallon*, l'eau épurée en contenait 1 grain, soit 14 milligrammes par litre. Nous savons que les eaux d'égout de Paris en contiennent quelquefois une quantité inférieure. Waring avait aussi proposé de faire passer l'eau d'égout, continuellement, à travers un filtre à gros grains jusqu'à son engorgement par les matières en suspension, puis d'oxyder ces matières en insufflant de l'air dans le filtre. Les insufflations d'air qui devaient assurer le fonctionnement du filtre, le rendaient au contraire évidemment impossible.

Malgré ces essais infructueux, les inconvénients de l'épuration par les *lits de contact*, et les diverses observations que nous avons faites de leur fonctionnement, nous donnaient la conviction qu'une épuration convenable ne peut être réalisée que si on réussit à pratiquer l'écoulement continu. Nous avons vu que dans les bassins à sable-scories les résultats obtenus par ce procédé étaient bien supérieurs à ceux des *lits de contact*. Mais nous savons que ces bassins présentaient toujours le grave défaut de se colmater fréquemment, et ce colmatage, qui interdisait l'accès de



Fig. 11.— Epuration mécanico-biologique des eaux d'égout de Paris.
Colonne épuratrice.

l'air dans la masse des scories, en diminuait le pouvoir épurateur et finissait même par les mettre hors de service plusieurs jours par mois. Nous avons cherché à faire disparaître cet inconvénient par un dis-

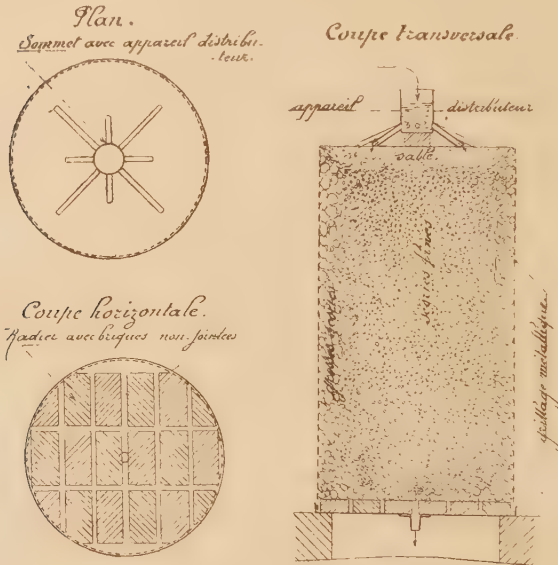


Fig. 12.— Colonne épuratrice pour le traitement des eaux d'égout.

positif simple, peu coûteux, facile à installer partout, d'un maniement commode, qui permettrait une aération abondante, continue, assurant par conséquent, de façon constante, une épuration très avancée. Nous nous sommes arrêté à l'appareil suivant que nous avons fait installer dans notre laboratoire, dans le

mois de septembre 1904, et que nous appelons *colonne épuratrice*. Il est constitué par des scories du volume d'un noyau de cerise qui sont enfermées dans un cylindre de toile métallique : le tout reposant sur un bassin de tôle galvanisée, percé d'une ouverture latérale par laquelle l'eau s'écoule après épuration. Ce cylindre a 1 m. 80 de hauteur et 0 m. 75 de diamètre ; une couche de sable de 5 centimètres d'épaisseur est disposée à la surface supérieure des scories ; elle empêche le colmatage qui pourrait se former, et aide à la distribution uniforme de l'eau.

L'eau d'égout à épurer est introduite dans un tonneau, d'où elle s'écoule *continuellement* avec un *débit uniforme*, réglé à l'aide d'un robinet, dans une sorte de godet en zinc. Celui-ci est percé sur ses faces latérales de huit ouvertures de 1 centimètre de diamètre dans chacune desquelles s'engage, avec une légère pente, une gouttière par laquelle l'eau se distribue *uniformément et très régulièrement* à la surface du sable sur huit points également espacés les uns des autres. Cette distribution est faite par égouttement et non par déversement, comme on la fait dans les *lits de contact*.

La répartition uniforme de l'eau dans un lit bactérien, qui paraît très simple, est au contraire, extrêmement difficile à réaliser. L'eau ne s'écoule point dans la masse poreuse en s'irradiant en éventail, ainsi qu'on le croit généralement. Si on remplit de scories, du

volume d'un noyau de cerise, un cylindre en toile métallique de 30 centimètres de diamètre et de 1 m. 50 de hauteur, et si on fait écouler sur sa partie supérieure, en son centre, de l'eau avec une vitesse de 7 litres à l'heure, toutes les scories sont humectées, régulièrement humectées, mais l'eau ne se répand pas hors de l'appareil.

De là cette conclusion, que si on veut convenablement utiliser toutes les scories d'un *lit bactérien*, ne pas avoir de régions mortes, il faut produire l'écoulement en des points qui ne soient pas distants les uns des autres de plus de 30 centimètres.

Les divers appareils distributeurs peuvent se ramener, dit M. Calmette, à cinq types :

Les pulvérisateurs à pression, les tourniquets hydropneumatiques ou sprinklers, les noyères à renversement, fixes ou rotatives, les gouttières perforées, les siphons à décharge automatique.

Nous avons vu fonctionner plusieurs de ces systèmes et nous trouvons qu'ils ne solutionnent pas de façon satisfaisante le problème capital de la distribution de l'eau d'égout.

Cette pluie d'eau puante produit des odeurs fort désagréables. Les secousses brusques qui accompagnent les décharges automatiques troublent l'état d'équilibre du filtre.

Nous avons commencé à faire fonctionner notre appareil dans le mois d'octobre 1904, mais il n'a été

mis régulièrement en marche qu'à partir de juin 1905. Depuis cette époque, il n'a cessé de fonctionner nuit et jour, hiver comme été, et il a épuré chaque jour, en moyenne, 150 litres d'eau d'égout, c'est-à-dire 6 litres et demi à l'heure. Nous avons pu, sans nuire à l'épuration, sans voir apparaître d'ammoniaque dans l'eau effluente, augmenter ce débit et le porter à 10 litres à l'heure pendant plusieurs semaines consécutives, soit un cube de 240 litres par jour. Puisque notre appareil avait une surface de un demi-mètre carré, nous avions alors un débit de 480 litres par 24 heures et par mètre carré.

L'eau que nous épurions était la même que celle traitée dans les *lits de contact* ; elle était puisée dans la rigole maîtresse d'alimentation du *Jardin modèle*.

Sa composition n'était pas cependant tout à fait semblable. Pour n'avoir pas à retirer trop souvent les boues du tonneau, l'ouvrier chargé de le remplir évitait de prendre les matières lourdes, sables et boues qui se déposent dans le fond de cette rigole. L'eau que nous épurions était donc en partie décantée, comme si elle sortait d'une *fosse septique*, c'est-à-dire d'un bassin de décantation ; mais elle ne l'était pas assez encore, et il fallait chaque deux mois environ, retirer les boues qui s'étaient déposées dans le tonneau et dont le volume s'élevait alors à six litres environ.

Nous avons constaté que l'eau effluente était *toujours uniformément et totalement épurée*, ce qui prouve bien que si dans une *fosse septique* les matières organiques dissoutes subissent en vingt-quatre heures une peptonisation, celle-ci n'est pas indispensable pour une épuration parfaite. L'eau que l'on introduisait dans le tonneau lorsqu'il était vide, s'écoulait aussitôt sur l'appareil, sans avoir subi de fermentations anaérobies; et elle s'épurait cependant aussi totalement que celle qui y avait séjourné vingt-quatre heures. L'eau traversait la colonne en trois heures et dans cet espace de temps très court elle subissait des transformations considérables. Les microbes qui peuplaient les scories avaient en effet, et à chaque instant, à leur disposition une quantité énorme d'oxygène dont on peut avoir une idée par le calcul suivant. Si on remplit une éprouvette graduée de 1 litre avec des scories du volume d'un noyau de cerise et qu'on y verse de l'eau jusqu'à la partie supérieure on constate qu'elle peut en contenir 560 centimètres cubes. Le volume d'air qui existait dans les 760 litres de scories renfermés dans notre appareil était donc de 425 litres, dont il faut retrancher le volume occupé par l'eau, soit 21 litres, car nous savons que le débit est de 7 litres environ à l'heure, et que l'eau met trois heures pour gagner le bas de la colonne. Par conséquent, ces 21 litres d'eau qui circulent constamment

dans la colonne y sont continuellement enveloppés d'une couche d'air formant un cube de 400 litres, soit 20 litres d'air pour un litre d'eau. Et encore ce chiffre est-il très inférieur au chiffre réel, car cet air se renouvelle sans cesse, soit par les faces latérales de la *colonne*, soit aussi par l'entraînement mécanique dû à la circulation de l'eau, si faible qu'elle soit. Wolny et Schlœsing ont montré, en effet, que dans l'intérieur du sol où l'on pratique l'épuration il y a un continuel mouvement d'air : l'acide carbonique, produit par les microbes, voyage constamment ; il s'évacue, entraîné par sa densité, par les tuyaux de drainage et il est remplacé par l'oxygène.

C'est pour activer le courant d'air ainsi formé, dont l'intensité est assurément faible, que nous proposons de compléter la construction de notre *colonne* par la disposition suivante très simple, indiquée sur notre plan (fig. 11). Des briques, non rejointées, seraient placées en damier sur le radier, de façon à laisser entre elles des vides de 3 à 4 centimètres, par où se ferait un appel d'air et qui faciliteraient en même temps l'évacuation de l'eau épurée. Sur ces briques, on disposerait une couche de 4 à 5 centimètres de scories, dont les dimensions seraient exactement suffisantes pour les empêcher de glisser entre les briques ; elles reliendraient les petites scories, leur serviraient de support. L'aération

aurait donc lieu à la fois par les faces supérieure, inférieure et latérales.

C'est un peu de la sorte que l'on procède pour produire l'*acétification* dans le procédé allemand de fabrication du vinaigre. Et on sait que l'acétification, comme l'épuration, est un phénomène d'oxydation.

Des gouttières en zinc, enfoncées à différentes hauteurs de la *colonne*, nous permettaient de suivre la marche de l'épuration.

Le tableau suivant nous montre que c'est surtout dans les étages supérieurs que le travail microbien est le plus actif. Après avoir traversé une épaisseur de 0 m. 50 de scories, l'eau a perdu près des trois quarts de sa matière organique et de son ammoniac. Celle-ci, comme nous avons eu déjà l'occasion de le constater dans les *lits de contact*, disparaît beaucoup plus vite que la matière organique. Mais tandis que dans ces *lits*, comme dans nos *flacons*, nous ne pouvions arriver à désintégrer le dernier noyau condensé de ces matières organiques, nous y réussissons dans notre *colonne épuratrice*, grâce à l'oxydation intense que nous y produisons artificiellement.

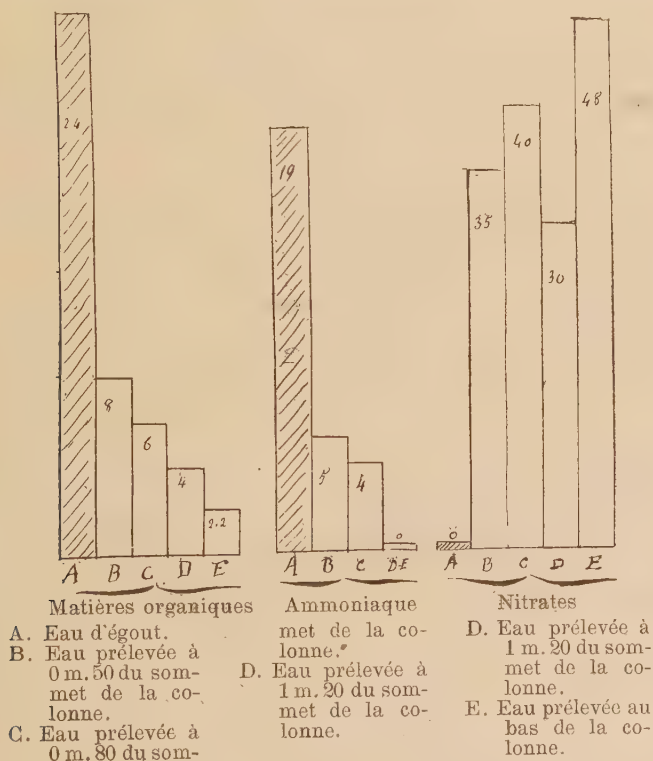
Très fréquemment, nous n'avons trouvé dans l'eau ainsi épurée, que 1 mgr. 5 à 1 mgr. 8 de matières organiques. Le chiffre 2 mgr. 2, que nous indiquons dans ce tableau, est le plus élevé que nous ayons eu, et c'est pour cela que nous le donnons.

TRAITEMENT DES EAUX D'ÉGOUT DE PARIS
SUR COLONNE ÉPURATRICE

Progrès de l'épuration aux divers étages de la colonne épuratrice.

	13 septembre 1906.			
	à 0 m. 50 du sommet.	à 0 m. 80 du sommet.	à 1 m. 20 du sommet.	au bas de la colonne.
Matière organique:	8	6	4	2,2
Ammoniaque.....	5	4	0	0
Nitrites.....	1,8	0,7	0	0
Nitrates.....	35	40	30	48
Oxygène dissous..	9,2	9,5	9,7	10,7
Germes aérobies..	80.000	24.000	36.000	6.000
Coeff. de contami- nation.....	6,5	5	2	1,1

Fig. 13. — Traitement des eaux d'égout sur colonne épuratrice.



L'eau d'égout, qui ne contenait pas d'oxygène en dissolution, en a absorbé 8 milligrammes après avoir traversé une couche de scories de 0 m. 50. Les nitrates sont déjà très abondants à ce niveau. Lorsque l'eau est descendue un peu plus bas, à 0 m. 80, elle présente la même composition que lorsqu'elle sortait du troisième *lit de contact*. Après qu'elle a traversé une couche de 1 m. 20, l'ammoniaque a totalement disparu. Enfin à la partie inférieure de la *colonne*, l'épuration est achevée et totale, car si l'eau contient encore de la matière organique, son *coefficient de contamination* est égal à l'unité.

Le tableau suivant indique la moyenne des très nombreuses analyses que nous avons faites.

TRAITEMENT DES EAUX D'ÉGOUT DE PARIS
SUR COLONNE ÉPURATRICE

Moyenne annuelle. Cube d'eau épurée par jour, 450 litres.	
Matière organique.....	de 1,8 à 2,2
Ammoniaque.....	0
Nitrites.....	0
Nitrates.....	de 50 à 80
Oxygène dissous.....	11
Germes aérobies.....	de 2.000 à 10.000
Coefficient de contamination.	- 1

L'eau est toujours claire, limpide, sans aucune *opalescence*. Cette opalescence très abondante à 0 m. 80 de la partie supérieure, allait peu à peu en diminuant ; elle était presque imperceptible à 1 m. 20 ; enfin au bas de la colonne elle avait disparu.

Nous avons parlé à plusieurs reprises de cet aspect laiteux de l'eau épurée et nous avons vu que, dans nos flacons *bouchés* il persistait *très longtemps*, qu'il persistait *toujours* en présence d'un *antiseptique*, qu'il persistait *moins longtemps* si le flacon était *ouvert*, qu'il était *fugace* si l'eau avait été *assez longtemps aérée* dans les *lits de contact*, enfin que les *dernières portions* de l'eau qui s'écoulaient de ces lits, *trois, quatre heures après le moment de l'ouverture* étaient toujours limpides. Dans notre colonne nous voyons de même, qu'au fur et à mesure que se produit l'épuration, qu'au fur et à mesure que l'oxygène arrive au contact de l'eau d'égout, cette opalescence diminue pour *disparaître totalement* lorsque l'épuration finale est réalisée.

On ne peut pas ne pas établir de comparaison entre cet aspect de l'eau incomplètement épurée et celui d'une solution saline dans laquelle on fait passer longtemps un courant d'hydrogène sulfuré. Celle-ci prend également un aspect blanchâtre, laiteux, dû à la formation d'un précipité de soufre extrêmement ténu.

Nous pensons que dans l'eau d'égout il y a toujours formation d'un précipité semblable et que si l'eau totalement épurée est limpide, c'est que les composés sulfurés qu'elle contient ont été oxydés.



L'influence, sur la disparition de cette *opalescence*, des antiseptiques, celle de la chaleur, celle de l'oxygène que nous avons mises en évidence, nous amènent donc à cette conclusion : qu'à côté des microbes *nitrifiants* de Winogradsky il doit y avoir des microbes *sulfurisants* que nous nous sommes proposé d'isoler, qui oxydent le soufre comme ceux de Winogradsky oxydent l'azote des ammoniaques.

La nitrification totale des composés azotés, la teneur toujours minime en matières organiques, la limpidité absolue de l'eau qui sort de notre *colonne épuratrice*, tous avantages que ne permettent point les *lits bactériens*, n'en sont point les seuls mérites.

Il en est un autre extrêmement appréciable, et que montrent les tableaux précédents : la disparition sinon totale, du moins presque totale des germes microbiens. On ne peut donc pas dire que la présence de très nombreuses bactéries dans l'eau

épurée sur sol artificiel, est la preuve d'une bonne épuration. Hiram Mills avait d'ailleurs déjà constaté que le nombre de bactéries, dans l'eau qui avait traversé ses filtres, diminuait d'autant plus que la nitrification était plus énergique. Et M. Duclaux l'expliquait de la façon suivante :

« Les ferments nitreux et nitriques s'emparent du terrain, en chassent par des phénomènes de concurrence vitale, ou détruisent par les produits auxquels ils donnent naissance, les autres bactéries. »

La cause en est aussi d'origine physique. Si le filtre en porcelaine retient les microbes, ce n'est point à la façon d'un filet qui retient le poisson qui ne peut fuir entre ses mailles. Le volume des bactéries est beaucoup plus petit que celui des pores du filtre. Elles pourraient s'y mouvoir à leur aise, disait encore M. Duclaux « comme une voiture dans un tunnel ». Si elles sont retenues, c'est qu'elles adhèrent aux parois par des phénomènes d'adhésions capillaires.

C'est aussi ce qui se passe dans notre *colonne*. Grâce à la faible vitesse de l'eau, les microbes peuvent se fixer sur les scories, alors qu'une vitesse plus grande les balayerait, les détacherait de leur support comme le faisaient les brusques secousses imprimées à la masse des scories, lorsqu'on vidait ou qu'on remplissait les *lits de contact*.

L'épuration obtenue dans notre **colonne épura-**
trice est donc de tous points comparable à celle qui
se produit dans le sol. Elle n'est plus comme celle
réalisée dans les **lits bactériens**, uniquement *bio-*
logique, elle est *mécanico-biologique*.

Un accident survenu à la canalisation qui alimente
notre laboratoire en eau potable nous a obligé à uti-
liser, pendant plusieurs semaines, l'eau épurée dans
notre appareil. Cela ne nous a nullement gêné, et
nous avons même pu l'employer à la préparation de
nos bouillons de culture.

Cette eau a pu être également employée au lavage
du linge, de mouchoirs de poche, notamment, dont
la blancheur et la propreté ne laissaient absolument
rien à désirer.

On pourrait très facilement donner à notre appa-
reil des dimensions moins réduites, et assurer encore
une aération très abondante. Il suffirait de construire
des colonnes concentriques, de rayon progressive-
ment croissant de 2 mètres, contre l'enveloppe en
toile métallique desquelles on adosserait une épais-
seur de 5 centimètres de scories du volume d'une
grosse noix, entre lesquelles l'air circulerait facile-
ment. L'aération se produirait de la sorte par les faces
externe, interne, supérieure et inférieure de ces
diverses colonnes qui en réalité n'en formeraient
qu'une seule, munie ainsi de *nombreuses cheminées*
d'aération.

Une colonne semblable de 10 mètres de rayon permettrait d'épurer les eaux usées d'une agglomération de 1.200 habitants à 100 litres par habitant. 20 colonnes semblables de 10 mètres de rayon assureraient donc l'épuration des eaux d'égout d'une ville de 24.000 habitants.

Notre appareil n'apporte malheureusement pas une solution aussi heureuse au problème des boues et nous nous voyons réduit à conserver la **fosse septique** si l'égout est à système séparatif, malgré les difficultés et les imperfections de son fonctionnement.

Avec un réseau d'égout à système unitaire, elle serait, croyons-nous, très avantageusement remplacée par des **bacs à décantation** avec brassage ultérieur des dépôts.

Notre **colonne épuratrice** nous offre donc un moyen puissant d'oxydation, et sa supériorité sur les *lits de contact* est indiscutable au double point de vue économique et sanitaire. Nous venons de voir qu'elle supprime la maçonnerie coûteuse des bassins, permet d'assurer l'épuration à des températures auxquelles les *lits de contact* ne peuvent plus fonctionner, et qu'enfin l'épuration est uniforme et totalement uniforme. Nous étions arrivé à ce résultat dès le mois d'octobre 1904, alors qu'il était admis jusque là, en France du moins, que l'épuration continue était impossible sur sol artificiel comme sur sol natu-

rel, et qu'il était indispensable d'observer avec la plus rigoureuse ponctualité les périodes de plein et de vide des *lits de contact*.

Il nous semble donc que nous sommes en droit de conclure que partout, à proximité de toute ville, de toute habitation, on peut traiter de façon peu coûteuse, sur des surfaces très réduites d'un *sol artificiel*, des eaux usées, et obtenir une épuration si complète que le **coefficient de contamination**, devenant égal à l'unité, il n'y ait plus le moindre danger à les déverser en rivière, ou à les employer au service de l'agriculture et du jardinage. Leur teneur très élevée en nitrates, c'est-à-dire en azote, directement assimilable par les végétaux, en phosphates, en potasse, leur donne en effet une réelle valeur, et les ferait avidement rechercher. L'épuration restant toujours un problème local, il y aurait d'ailleurs à régler la hauteur de la **colonne** et la vitesse de l'écoulement d'après la concentration de l'eau que l'on aurait à traiter. Les municipalités pourraient ainsi assurer l'assainissement de leur ville et utiliser sans inconvénient pour la santé publique les substances fertilisantes que contiennent les eaux d'égout.

Le tableau suivant permet d'apprécier comparativement les avantages des procédés d'épuration que nous venons d'étudier.

TRAITEMENT DES EAUX D'ÉGOUT DE PARIS

Eau d'égout brute	Eau épurée			
	Par épandage sur sol naturel.	Par colonne épuratrice.	Par lits de contact. (eau de ruissell ¹)	
Matières organiques	30	1	2,2	4
Ammoniaque	22	0	0	1,2
Nitrites.....	0	0	0	traces
Nitrates.....	0	30	50	30
Germes microbiens. 20.000.000	2.350	6.000	600.000	
Coefficient de contamination.....	26	0,5	1,1	2,6
Cube épuré en 24 h. par mètre carré...		11 lit.	400 lit.	400 lit.

CONCLUSIONS

I. — Les microbes d'une eau agissent sur les substances minérales et organiques qu'elle contient et en modifient la composition.

Il faut donc, comme pour l'analyse bactériologique, procéder à l'analyse chimique aussitôt après le prélèvement.

II. — L'épuration spontanée des cours d'eau est surtout une épuration de surface, car les boues sédimentées sont putrescibles et sont par conséquent un danger continuel de contamination. Aussi ne devrait-on pas jeter dans les rivières une eau dont le *coefficient de contamination* serait sensiblement supérieur à l'unité.

III. — L'épandage sur sol naturel, nu ou cultivé, est le procédé d'épuration le plus efficace que l'on connaisse, mais il exige un sol convenablement poreux et situé à proximité du centre de pollution. De plus le cube d'eau épurée est toujours minime. Pour le sol des caps de la Seine, il ne doit pas dépasser, légalement, la dose de 11 litres par mètre

carré superficiel. Sur sol naturel, la distribution de l'eau doit être intermittente.

IV.— Les actions de solubilisation du **septic tank** anglais sont, pour les eaux d'égout parisiennes extrêmement faibles. Pour ces eaux et pour celles des égouts à système unitaire, la **fosse septique** agit surtout comme bassin de sédimentation. Elle pourrait être avantageusement remplacée par des *bacs à décantation*, dont les boues seraient ultérieurement soumises à un brassage en présence d'eau déjà épurée, riche en oxygène et en microbes oxydants.

V.— L'épuration par les **lits de contact** est toujours inégale, toujours incomplète. L'eau est toujours *opaline* ; et cette opalescence paraît due à une oxydation insuffisante des composés du soufre des matières organiques qui se trouvaient dans l'eau d'égout.

VI.— L'épuration de l'eau d'égout, à la dose de 380 à 400 litres par mètre carré superficiel, peut être obtenue totale, c'est-à-dire telle que son *coefficient de contamination* soit égal à l'unité, par écoulement continu, absolument continu, dans notre **colonne épuratrice** dont on aurait à faire varier la hauteur avec le degré de pollution de l'eau à épurer.

L'eau ainsi épurée est toujours absolument limpide. Elle ne contient pas plus de germes microbiens que la plupart de nos eaux de boisson, beaucoup moins qu'un grand nombre des eaux minérales du

commerce. Elle peut servir au blanchissage du linge ;
et la durée de l'épuration n'est pas supérieure à 3
heures.

Vu : LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE,

Docteur A. CHÂNTEMESSE.

Vu : LE DOYEN,

DEBOVE.

Vu et permis d'imprimer,

LE VICE-RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,

Pour le Vice-Recteur,

A. CAHEN.

BIBLIOGRAPHIE

- CH. ROUCHY. — Essais d'épuration d'eau d'égout par la méthode bactérienne. *Journal de Pharmacie et Chimie*, 15 avril, 1^{er} mai 1901.
- AUG. PELISSIER. — Commentaires de la loi du 15 février 1902. *Revue Technique*, 1903-1904.
- LE NOIR DE TOURTAUVILLE. — De la protection de la santé publique.
- A.-J. MARTIN et BLUZET. — Etude de la loi du 15 février 1902.
- FILLASSIER. — De la détermination des pouvoirs publics en matière d'hygiène.
- STRAUSS et FILLASSIER. — Loi sur la protection de la santé publique.
- CALMETTE. — L'épuration biologique des eaux d'égout. R. H., 1900-02-05-06.
- Recherches sur l'épuration biologique et chimique des eaux d'égout.
- CALMETTE et ROLANTS. — Les eaux résiduaires de Verviers.
- ROLANTS. — Epuration biologique des eaux résiduaires de féculeries. R. H. 1906.
- BECHMANN. — R. H., 1898-1901-1906.
- BECHMANN. — Salubrité urbaine, distribution d'eau.

- LAUNAY. — R. H. 1895.
- LAUNAY. — Rapport de Mission, 1901.
- Rapport. Congrès international d'hygiène, 1900.
- Traduction Thudicum.
- NOTICE. — Assainissement de la Seine.
- LAUNAY. — Epuration agricole des eaux d'égout. R. H. 1900.
- CHANTEMESSE. — Epuration biologique des eaux d'égout. R. H., 1906.
- CHANTEMESSE et WIDAL. — Recherches sur le bacille typhique. *Archives de Physiologie*, 1887.
- Société de Biologie, 1891. Différenciation du B. typhique et du bactérium coli.
- VINCENT. — Sur un nouveau procédé d'isolement du bacille typhique dans l'eau. C. R. S. Biologie, 1890.
- RODET. — Importance de la température dans la détermination du bacille typhique. S. Biologie, 1889.
- GRIMBERT. — Sur la préparation du milieu d'Elsnes. Soc. Biologie, 1896.
- BROUARDEL et THOINOT. — La fièvre typhoïde.
- VINCENT. — Influence de la lumière solaire sur le bacille de la fièvre typhoïde. R. H., 1898.
- Commission technique de l'assainissement de Paris.
- VINCENT. — Rapports du bacille dysentérique avec les eaux de boisson. R. H., 1906.
- LECOUPEY DE LA FOREST. — Les filtres à sable. R. H., 1906.
- DUNBAR. — Purification des eaux d'égout. *Gesundh Dunbar* R. H. 1906.
- Appréciation de l'efficacité des installations d'épuration des eaux d'égout. R. H., 1906.
- IMBEAUX. — L'assainissement des villes.
- VINCEY. — R. H., 1897-1906-1907.
- Congrès d'hygiène de Tourcoing, 1906.

Congrès d'hygiène de Marseille, 1906.

MACÉ et IMBEAUX. — *Annales d'Hygiène*, 1899.

GIRARD et BORDAS. — La Seine de Corbeil à Rouen.
An. d'Hygiène, 1893.

SCHLÆSING et DURAND-CLAYE. — Rapport sur l'altération
des cours d'eau.

JULLIEN. — Fièvre typhoïde à Tourcoing.

BEZAULT. — L'épuration biologique. R. H., 1906.

LANGLOIS. — Hygiène publique et privée.

PUECH. — L'épuration biologique. R. H., 1906.

ROMAN et COLIN. — Les eaux de Vichy.

DUCLAUX. — Traité de microbiologie.

— Le lait.

— Action de l'eau sur les bactéries pathogènes.

An. I. P. 1890.

— Filtrage des eaux de fleuve. *An. I. P.* 1891.

PERÉ. — Contribution à l'étude des eaux d'Alger. *An*
I. P. 1891.

MIQUEL. — Annuaire de l'Observatoire de Montsouris.

SCHLÆSING et MUNTZ. — Recherches sur la nitrification
C. R. As. L. XXXIX.

WINOGRADSKY. — Recherches sur les organismes de la
nitrification. *An. I. P.*, 1890-91. Morphologie des
organismes de la nitrification. *Archiv. des Sciences*
biologiques de St-Petersbourg, 1891.

WINOGRADSKY et OMELIANSKY. — L'influence des sub-
stances organiques sur le travail des microbes nitrifi-
cateurs. *Arch. des Scien. biolog.* Pétersbourg, 1899.

OMELIANSKY. — Sur la nitrification de l'azote organique.
Arch. des Scien. biolog. Pétersbourg, 1899.

CORNIL. — Rapport au Sénat, 1888.

BOURNEVILLE. — Rapport à la Chambre des Députés,
1885.

- BERTILLON. — Etat sanitaire des localités irriguées à l'eau d'égout. R. H., 1889.
- DEHÉRAIN. — Traité de chimie agricole.
- BELGRAND. — Les travaux souterrains de Paris.
- MACÉ. — Traité pratique de bactériologie.
- RIDEAL. — Sewage and sewage purification.
- BESSON. — Technique microbiologique.
- Abbé MOIGNO. — Cosmos 1881-1882-1883.
- BALTHAZARD. — Traité de médecine légale.
- VIBERT. — Médecine légale.
- ROUX. — Précis d'analyse microbiologique des eaux.
- FLEURY. — *Revue des Deux-Mondes*, 1892.

Buzançais (Indre), Imprimerie F. Deverdun.

